Institut océanographique
de Bedford

REVUE 1986 de L'IOB

88-01361/

L'artisan d'une révolution

Créé en 1962 par le gouvernement du Canada, l'Institut océanographique de Bedford avait pour mission de répondre aux besoins qui, dans de nombreux secteurs de l'économie canadienne, requèreraient, très probablement, dans les années à venir, des recherches et des services relevant de toutes les disciplines des sciences marines. Par un heureux hasard, le début des années soixante a coïncidé avec un renouveau universel des sciences marines, dû surtout à la mise au point de nouveaux outils à circuits électroniques à semi-conducteurs. Les sondes électroniques et les ordinateurs ont permis d' ''écouter'' l'océan, de traiter l'information et de l'interpréter avec une précision et une rapidité que l'on n'aurait jamais imaginées à l'aube des sciences marines.

Dès ses débuts, l'IOB a été doté de superbes navires de haute mer dont la capacité opérationnelle a rarement été égalée, même aujourd'hui, et les équipes scientifiques, toutes nouvelles, ont été rapidement en mesure de prendre la mer quand et où le voulait la recherche. Au cours des années, les navires de l'IOB ont réussi à opérer dans l'Extrême-Arctique, où l'état des glaces est assez difficile, et à poursuivre des travaux scientifiques de précision dans l'Atlantique Nord, où les conditions hivernales auraient été impossibles pour la plupart des navires scientifiques de haute mer. Il faut en attribuer le crédit principal aux audacieux qui ont mis en service l'Hudson et le Baffin ainsi qu'aux équipages de ces navires. Au moment même où cet article était rédigé, l'Hudson ramenait à St-Jean (Terre-Neuve) l'équipage d'un gros vraquier qui a sombré au large des Bancs de Terre-Neuve, sauvetage réalisé dans une mer démontée et des vagues de 10 m.

Vous voudrions souligner, dans cette revue du 25e anniversaire, que l'IOB se différentie de la plupart des autres organismes des sciences de la mer par certaines caractéristiques. L'éventail des disciplines couvert par cet Institut a été exceptionnellement large dès le départ, ce qui nous a offert d'extraordinaires possibilités d'interférence féconde et de collaboration. Comme le lecteur pourra le constater, les groupes de recherche en océanographie physique, chimique et biologique ont travaillé de concert avec des géologues,

Institut océanographique de Bedford en 1962. . .

des métrologistes, des biologistes, des halieutes, des ornithologues, des hydrographes et des cartographes. De nombreux projets de recherche et la plupart des expéditions ont fait entrer en collaboration plusieurs de ces groupes, indépendamment de leurs sources de financement et de leurs affiliations. La plupart des expéditions ont accueilli par ailleurs maint projet de recherche universitaire canadien ou de l'étranger.

Il ne fait aucun doute que les 25 années qui ont suivi la création de l'IOB ont été une période de développement extrèmement rapide de nouvelles connaissances en sciences marines et dans l'application des découvertes aux besoins de la société. Si l'IOB n'avait pas joué un rôle actif dans toute cette évolution et s'il n'avait pas été chef de file dans certains domaines, cette introduction s'appellerait: «Dans le sillage d'une révolution». Tant de choses ont changé dans les sciences marines, d'une manière si rapide et si radicale qu'il est difficile de se rappeler les principes et les modèles qui étaient en vigueur en 1962, voici seulement 25 ans. Dans ce rapport-synthèse du premier quart de siècle de l'IOB, nous avons tenté d'illustrer certaines des conceptions révolutionaires qui l'ont marqué et de montrer notre contribution.

Il est incontestable que les changements les plus marquants sont survenus dans les sciences de la terre, changements au moins comparables à la révolution darwinienne en biologie, et d'une importance au moins égale sur le plan économique; il est difficile de s'imaginer aujourd'hui que, lors de la création de l'IOB, les théories d'expansion du fond marin et de dérive continentale venaient tout juste d'être formulées à partir des premières données fiables, et qu'au cours des 25 années qui allaient suivre, la tectonique des plaques à l'échelle du globe deviendrait la pierre angulaire non seulement des sciences marines, mais de toutes les sciences géologiques. Comme nous allons le montrer, la contribution de l'IOB a été précieuse dans ce domaine comme dans d'autres peut-être tout aussi révolutionnaires, notamment la circulation océanique, la production biologique, la gestion des pêcheries commerciales et les techniques de cartographie marine pour la navigation. Dans tous ces

secteurs, et dans d'autres, la participation de l'IOB a été novatrice et déterminante : à l'instar de tous les grands centres de recherche océanographique, nous avons joué à la fois un rôle d'avant-garde et de serre-file.

Nous aurions pu célébrer, dans ce rapport, non pas le rôle de l'IOB dans la révolution scientifique des 25 dernières années, mais l'exécution du mandat de plusieurs ministères fédéraux dans l'Atlantique canadien, qui était d'appliquer des solutions scientifiques à la révolution économique qui s'était produite en mer au cours de cette période, afin d'en faire profiter ou de sauver plusieurs secteurs de l'économie canadienne. Même si les ministères fédéraux qui avaient créé l'IOB n'ont pas su les prévoir en détail, de profonds changements économiques ont marqué les pêches, la navigation et les industries énergétiques offshore et ont ainsi confirmé la sagesse de la décision du début des années soixante, visant l'instauration d'un programme océanographique canadien.

Depuis, la demande de nouveaux levés, de nouvelles informations et de nouveaux services n'a cessé de s'amplifier et n'a pu être satisfaite autrement. Au cours du dernier quart de siècle, l'industrie de la pêche et ses gestionnaires ont subi le contrecoup de la crise du pétrole, de l'établissement d'une zone de pêche de 200 milles, de la restructuration économique de l'indusrie et de l'évolution rapide des marchés internationaux. L'industrie énergétique a entrepris de grands travaux d'exploration dans les eaux canadiennes de l'Atlantique et de l'Artique et a su résoudre, pour cette région d'exploration la plus exposée du monde, les problèmes techniques posés par les eaux profondes, les sédiments instables, les icebergs et le pack, les conditions extrêmes des vents et de la mer. Il a fallu aussi procéder là où les marées sont les plus fortes du globe, à une évaluation approfondie des conséquences de l'utilisation de l'énergie marémotrice à l'échelle régionale. La marine marchande utilise des navires moins nombreux mais plus gros, de tirant d'eau plus grand, et toujours plus rapides, empruntant de nouvelles routes et à destination de nouveaux ports; aussi exige-t-elle, plus que jamais, une mise au point rapide des cartes nautiques et des aides à la navigation.

Cette période a également apporté de nouvelles connaissances touchant les perturbations météorologiques phénoménales causées, d'une année à l'autre, par des changements dans la circulation océanique; et aussi quant au rôle important que joue l'océan dans les changements climatiques à long terme : il est établi que l'agriculture, le transport, l'énergie, secteurs de l'économie canadienne, ont été gravement touchés par ces perturbations.

Dans tous ces secteurs, et pour d'autres questions pratiques que l'on n'aurait su prévoir il y a 25 ans, la communauté scientifique de l'IOB a été sollicitée par plusieurs ministères fédéraux et provinciaux ainsi que par de nombreuses entreprises industrielles canadiennes, en vue de trouver des solutions scientifiques, de fournir des services ou d'obtenir des données. Si l'IOB n'avait pas existé pendant cette période de profonde transformation dans les secteurs de l'économie canadienne qui «font négoce parmi les grandes eaux», il aurait fallu l'inventer sans tarder . . .

— A.R. Longhurst
Directeur général
Institut océanographique de Bedford
Ministère des Pêches et des Océans
1er avril 1986

— B.S. Muir
Directeur régional des Sciences
Région Scotia-Fundy
Ministère des Pêches et des Océans
1er avril 1986 - 19 mai 1987

— S.B. MacPhee
Directeur régional des Sciences
Région Scotia-Fundy
Ministère des Pêches et des Océans
19 mai 1987

Table des matières

L'ARTISAN D'UNE RÉVOLUTION .. *(au verso de la page couverture)*

LA RECHERCHE 4

Les capteurs biologiques — étude de la répartition spatiale du plancton (*Alex Herman et Alan Longhurst*) 4

Le picoplancton photosynthétique (*Trevor Platt et William K.W. Li*) 9

La gestion des pêches maritimes : perspective historique (*Robert N. O'Boyle et Peter A. Koeller*) 14

Énergétique physiologique du poisson : effets sur la production (*Lloyd M. Dickie*) 18

Histoire des mouillages d'instruments océanographiques à l'IOB (*Clive Mason*) 22

Les percées de la technologie hydrographique (*Adam J. Kerr*) 26

Vingt-cinq ans de recherche sur les dorsales (*Michael J. Keen*) 30

La marée noire — de la pollution globale à la source alimentaire benthique (*Eric M. Levy, Paul D. Keizer et John H. Vandermeulen*) 35

Dissipation d'énergie et progrès dans l'étude de la microstructure de l'océan (*Neil S. Oakey*) 40

Processus en oeuvre sur le rebord du plateau continental (*Peter C. Smith et Helmut Sandström*) 44

Les bassins sédimentaires de la marge passive de l'Est du Canada (*Michael J. Keen*) 51

Géochimie des métaux traces dans les océans au cours des 25 dernières années (*Philip A. Yeats et J. Michael Bewers*) 60

Navigation : histoire de la R & D à l'Institut (*Stephen T. Grant et David L. McKeown*) 64

Fronts de marée et brassage (*David A. Greenberg et Peter C. Smith*) 68

Le climat océanique (*R. Allyn Clarke et Fred W. Dobson*) 72

CARTES ET PUBLICATIONS 77

EXPÉDITIONS 86

ORGANISATION 94

TRAVAUX DE RECHERCHE 95

EXTRAITS DU JOURNAL DE BORD DE L'INSTITUT : 1962-1987 101

La Revue de l'IOB est publiée chaque année par l'Institut océanographique de Bedford. Pour tout changement d'adresse ou demande de renseignements, s'adresser aux :

Services de bibliothèque
Institut océanographique de Bedford
B.P. 1006
Dartmouth (Nouvelle-Écosse)
Canada B2Y 4A2

ISSN 0229-8910

N° de cat. FS75-203/1986F
ISBN 0-662- 94486-0

An English version is also available

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1986

Revue 1986 de l'IOB

Rédacteurs
Brenda Newman et Michel P. Latrémouille
Rédacteur adjoint
Bert Bennett
Coordonnateur de la production
John Camp
Composition
Nancy Poirier Typesetting
Impression
Kromar Printing Ltd., Winnipeg

Les capteurs biologiques — Étude de la répartition spatiale du plancton

Alex Herman et Alan Longhurst

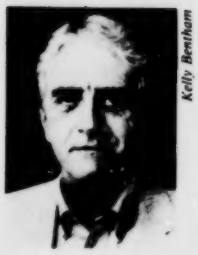
Alex Herman

LES premiers chercheurs n'ont pas été lents à découvrir que le plancton ne se répartit pas uniformément, même dans une masse d'eau qui semble uniforme, et se sont rapidement trouvés confrontés à un problème statistique : comment obtenir des données sur le plancton qui puissent représenter d'une manière fiable l'ensemble d'une région. Au début du siècle, ils avaient déjà mis au point de simples filets fermants pour essayer de mesurer la microrépartition du plancton. D'environ 1920 jusqu'à 1950, on a effectué des observations sur la taille et la cohérence des essaims de diatomées en mer du Nord et de zooplancton dans l'océan austral, et on avait pu établir la structure de la migration verticale nycthémérale et saisonnière, mais les profils se fondaient sur une résolution très faible en profondeur. L'appareil le plus remarquable de l'époque était un enregistreur à plancton en continu, conçu par Alister Hardy, qui était remorqué derrière les navires marchands pendant de longues traversées et qui décrivait déjà la microrépartition du plancton et ses changements saisonniers avec une résolution d'environ 10 milles.

Les progrès ont été rapides dans les années 1950 et, en 1962, lorsque l'Institut océanographique de Bedford (IOB) a ouvert, d'autres établissements avaient commencé à étudier la signification statistique de cette microrépartition et l'avaient mise en évidence jusqu'à l'échelle du mètre à l'aide de méthodes de pompage près de la surface; c'est aussi l'époque où on a commencé à étudier la manifestation des « couches diffusantes profondes » relevées par les écho-sondeurs; ces travaux ont permis de reconnaître que la répartition spatiale du plancton était dominée par l'existence de couches subsuperficielles denses dans les grands bassins océaniques.

La création de l'IOB en 1962 s'est trouvé coïncider avec de grands progrès réalisés dans l'emploi de matériel électronique de détection et de contrôle dans les instruments utilisés sous l'eau par les scientifiques. Au départ, l'IOB a établi que les ingénieurs et les spécialistes de physique appliquée devraient jouer un rôle important et faire partie intégrante des groupes scientifiques. Ce principe, et la révolution apportée par les semiconducteurs dans le domaine des sciences de la mer, ont permis, à l'IOB et ailleurs, de mettre au point de nouvelles méthodes pour la mesure de la répartition spatiale en mer. Les progrès dans l'interprétation ont été rapides, et ces études ont dominé une bonne partie de l'écologie marine pendant plusieurs décennies.

Il est possible, dans certaines limites, de mesurer l'abondance du phytoplancton en mesurant la chlorophylle, et l'une des premières applications de l'optoélectronique a été l'emploi de la fluorimétrie pour mesurer la chlorophylle dans l'eau proche de la surface à partir d'un navire en marche, tout en enregistrant la température et la salinité. Cette opération a été réalisée pour la première fois au milieu des années 1960 par Lorenzen (1966) à l'Institut Scripps, et elle est vite devenue une méthode standard dans de nombreux laboratoires



Alan Longhurst

océanographiques, notamment à l'IOB. Rétrospectivement, on peut y voir le premier fruit de la révolution électronique dans le domaine de l'océanographie biologique.

Il devenait aussi possible d'échantillonner le zooplancton et le micronecton avec un pouvoir beaucoup plus grand de séparation spatiale que ne le permettaient les simples filets fermants. La possibilité de mouiller des systèmes électroniques sous la surface pour commander les engins mécaniques de prélèvement et enregistrer en même temps des données sur le milieu ambiant a amené, pendant les années 1960, la mise au point d'une gamme d'échantillonneurs de plancton en séries, capables de produire des profils verticaux avec un pouvoir séparateur beaucoup plus grand que les anciens filets fermants mécaniques, commandés par de simples poids (messagers) qu'on faisait descendre le long du câble lorsqu'on jugeait le moment propice.

Le premier de ces nouveaux échantillonneurs, appelé LHPR, a été mis au point à l'Institut Scripps par Longhurst (1966) et pouvait fournir des profils du zooplancton à des intervalles d'environ 5 m de profondeur, et des données limitées sur la salinité et la température. Par la suite, on a réalisé un net progrès avec des filets fermants multiples qui donnaient de plus grands échantillons que le LHPR tout en offrant une résolution

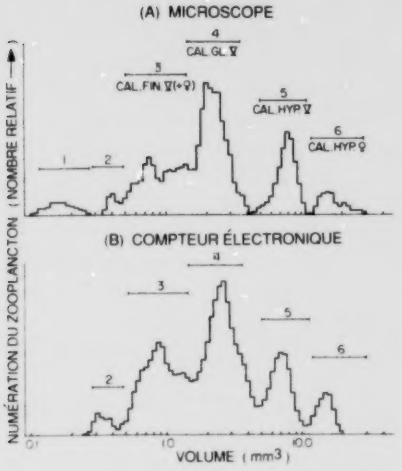


Fig. 1 Comparaison des distributions de taille des copépodes, mesurées au compteur électronique et au microscope. Le même échantillon, qui provenait de la baie de Baffin, a été utilisé dans les deux cas.

d'environ 20 m sur les profils verticaux. Foxton, de Wormley, a utilisé la télémétrie acoustique pour commander une série de filets NIO, tandis que Wiebe (1976), de Woods Hole, et Sameoto (1980), de l'IOB, ont choisi la commande électronique en utilisant des câbles conducteurs pour leurs systèmes à filets multiples nommés respectivement MOCNESS et BIONESS. Les ingénieurs de l'Institut ont récemment mis au point pour le BIONESS un dispositif de commande immergé relié à un microprocesseur, qui complète un système intégré maintenant vendu à grande échelle par une société de Nouvelle-Écosse et qui est compatible avec la génération actuelle du LHPR, également mise au point par nos ingénieurs.

Parallèlement au perfectionnement des filets, et pour tenter d'obtenir une résolution verticale encore plus fine, Strickland, de l'Institut Scripps, a essayé de construire, au début des années 1960, un système de pompage qui pourrait descendre au-delà de la thermocline saisonnière; cette technique connaît de nombreuses difficultés mécaniques, et l'une des meilleures solutions a été mise au point par Herman *et al.* (1981), à l'Institut. Ce dispositif est maintenant utilisé couramment en mer, et il est assisté par un treuil « intelligent », commandé par un microprocesseur, qui s'adapte aux mouvements du bateau pour maintenir l'orifice de la pompe à une profondeur constante. Ce dispositif permet de capter des données biologiques et de prélever des échantillons avec un pouvoir séparateur vertical de 1 m jusqu'à une profondeur de 100 m.

Ce sont les compteurs électroniques de zooplancton, qui adaptaient la cellule de conductivité de Coulter à une unité remorquée sous la surface, qui allaient offrir la meilleure résolution pour les profils de zooplancton. Les premiers essais, réalisés à Woods Hole par Maddux et Kanwisher, n'ont guère donné de résultats, et la technique n'a fourni que des données techniques pendant une bonne dizaine d'années; cependant, en perfectionnant la cellule de conductivité, Boyd et Johnson (1961), de l'Université Dalhousie, avaient pu obtenir des données sur la répartition verticale et horizontale. Comme nous allons le voir, cette technique a finalement été exploitée avec succès à l'Institut, et il est devenu possible de confier à une société privée la production d'une nouvelle génération de compteurs électroniques de plancton.

L'une des clés du succès de l'IOB dans l'évolution de cette nouvelle discipline à l'échelle du monde a été la mise au point de capteurs électroniques efficaces qui nous ont finalement permis d'obtenir des profils de zooplancton offrant une discrimination verticale aussi fine que les profils du phytoplancton obtenu par fluorimétrie, et donc d'étudier dans le détail l'interaction entre les végétaux et les herbivores. Vers le milieu des années 1970, un programme réalisé en collaboration par le MPO à l'IOB et par le Conseil national de recherches du Canada a été lancé pour la mise au point d'un compteur électronique de zooplancton qui serait facile à utiliser en mer.

Les cellules de conductivité utilisées jusqu'à maintenant dans les salinomètres et dans les compteurs à zooplancton souffraient d'une forte dérive causée par la polarisation. Ces instruments utilisaient le courant alternatif à haute fréquence, mais le compteur IOB/CNRC devait fonctionner en courant continu, selon le principe de conduc-

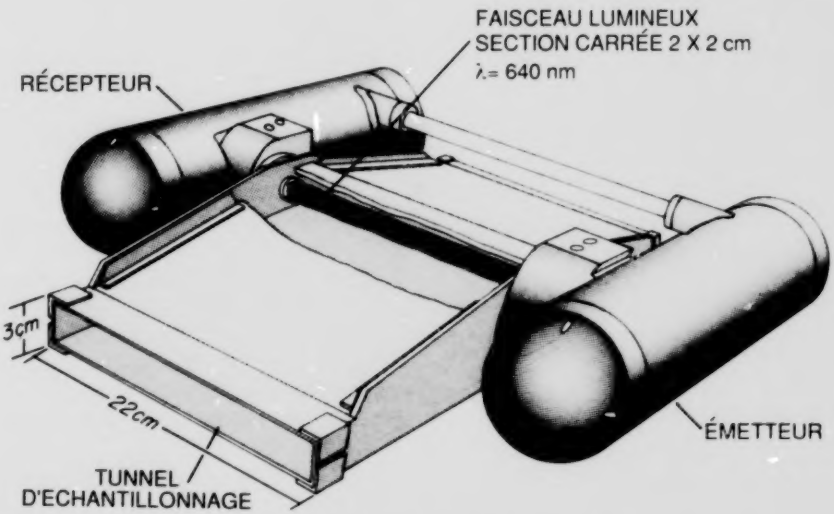


Fig. 2 Le compteur optique de plancton.

tance en signal carré appliqué dans la sonde CTP canadienne déjà mise au point au CNRC et fabriquée par la société Guildline Instruments, en Ontario. Nous pouvions ainsi faire appel à l'électronique numérique de pointe, et à des circuits intégrés à faible puissance pour obtenir un capteur électroniquement stable, exempt de bruit et utilisant peu d'électricité.

Le compteur électronique (Herman et Dauphinée, 1980) peut être monté sur le véhicule BATFISH de l'IOB et remorqué avec un mouvement vertical en dents de scie, de façon à produire une série de profils presque verticaux séparés par 1 ou 2 km. Une sonde CTP montée sur le BATFISH peut fournir des données sur l'environnement, tandis qu'un fluoromètre intégré donne les profils de la chlorophylle. Pendant 4 ans, depuis 1977, l'IOB a utilisé ce véhicule pour étudier l'écologie du plancton dans l'Atlantique du Nord et sur le plateau continental Scotian, dans l'est de l'Arctique canadien, dans l'est du Pacifique tropical, et sur les côtes du Pérou, à la demande de l'ACDI.

Nous avons trouvé que le compteur électronique pouvait identifier l'espèce dominante dans un échantillon en utilisant simplement la discrimination par taille. La figure 1 donne un exemple de la distribution par fréquence de taille, d'après un profil relevé au BATFISH dans la baie de Baffin (Herman, 1983); les pics dominants correspondent aux espèces de copépodes et à leurs stades de croissance, ce qui a été vérifié au microscope sur les mêmes échantillons. Cette dernière procédure est laborieuse et coûteuse; cependant, une fois qu'on a établi la comparaison pour une zone et une saison, on peut utiliser régulièrement le compteur à plancton pour dénombrer les espèces, et obtenir ainsi à peu de frais des données précises qui ne pourraient être produites d'une autre manière.

Un grave problème demeurait : le compteur était difficile à utiliser en mer pour les techniciens. Le filet d'échantillonnage et de pré-filtrage devait être nettoyé sans arrêt, et les traits étaient nécessairement courts (moins de 3 heures). De plus, le compteur ne pouvait pas mesurer les animaux de plus de 3 mm, comme les euphausiacés et les larves de poisson, à cause du diamètre nécessairement petit de sa cellule. À la période où les scientifiques prenaient conscience de ce problème, les progrès réalisés en technologie optique permettaient de mettre sur le marché des diodes électroluminescentes et des photodiodes rectilinéaires de faible puissance et de forte intensité.

L'IOB a alors lancé un projet concernant la mise au point d'un compteur optique de plancton qui pourrait éviter, enfin, les difficultés opérationnelles inhérentes aux compteurs à cellule de conductivité. Le nouveau compteur a pour principe la formation d'un faisceau lumineux à section carrée, orientée perpendiculairement à la direction du trait. Lorsqu'un zooplancton traverse le faisceau, il l'interrompt, et la grandeur de l'« ombre » correspond à la taille de l'animal. Grâce à un principe optoélectronique maintenant breveté par l'IOB, le même faisceau lumineux sert aussi à mesurer l'atténuation de la lumière dans l'eau, ce qui donne une mesure simultanée de la biomasse phytoplanctonique. Le même faisceau lumineux sert ainsi à mesurer en même temps le zooplancton et sa source de nourriture, à une échelle spatiale de l'ordre de quelques centimètres.

Le mode de fonctionnement du compteur optique apparaît à la figure 2, qui montre le tunnel où se trouve le faisceau lumineux et où passe l'échantillon. L'ouverture de ce tunnel est assez grande pour laisser passer des animaux mesurant jusqu'à 3 ou 4 cm, ce qui augmente d'un ordre de grandeur la limite supérieure de taille des organismes. Le compteur optique, monté sur le BATFISH (figure 3), peut être remorqué à une vitesse allant jusqu'à 10 noeuds, et grâce au diamètre du tunnel, les statistiques d'échantillonnage sont nettement améliorées à cette vitesse, et il n'est pas nécessaire d'utiliser un filet concentreur. Les traits ne sont donc plus limités dans le temps et dans l'espace. La fig. 4 représente des traits de 100 km de long effectués dans le bassin Emerald, où nous avons observé des couches denses de copépodes (5 000/m^3) dans la couche de fond de 60 m.

Nous avions aussi besoin d'un comp-

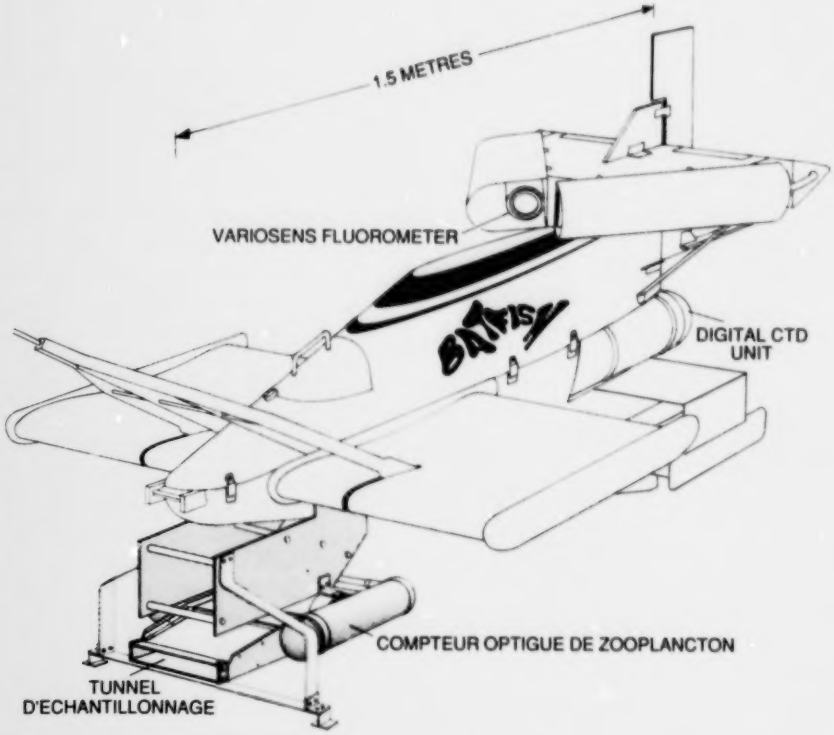


Fig. 3 Le véhicule BATFISH équipé du compteur optique de plancton.

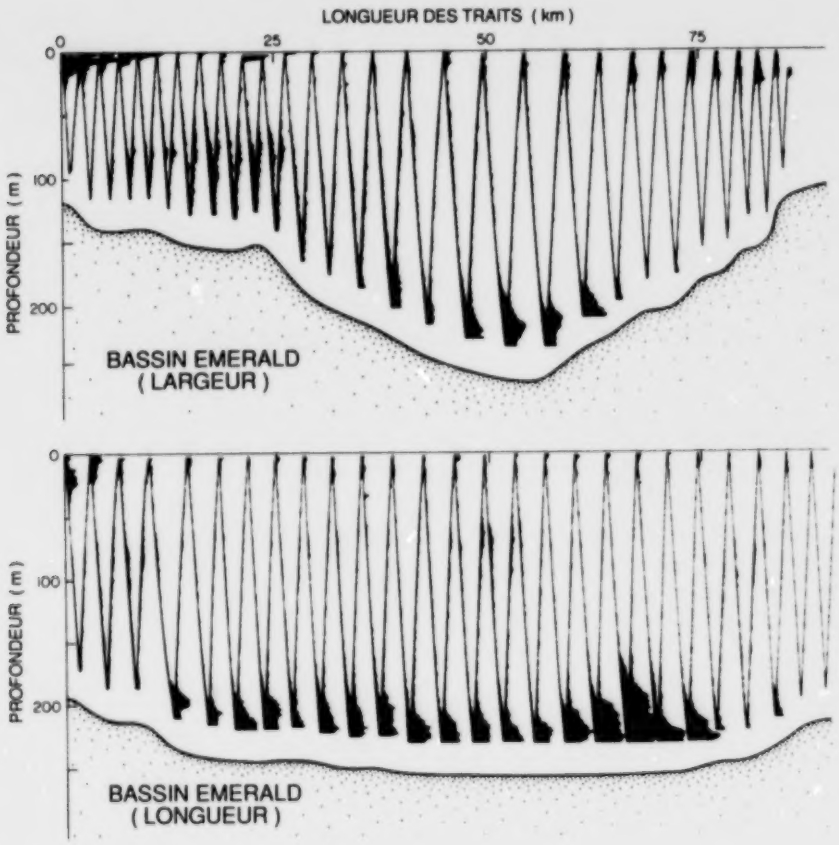


Fig. 4 Transects parcourus par le BATFISH dans la longueur et la largeur du bassin Emerald. Les bandes noires indiquent la présence de couches de copépodes dans la couche de fond de 60 m.

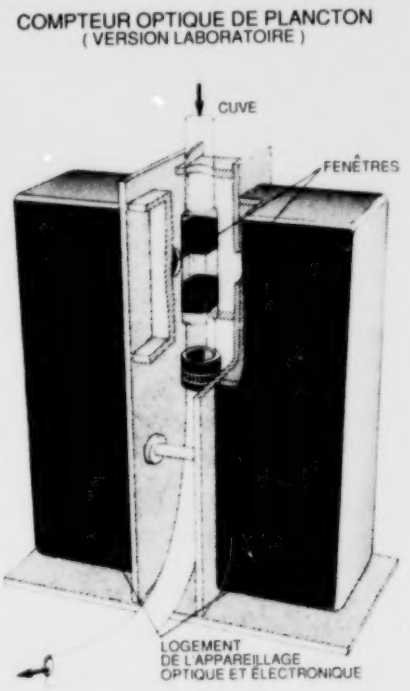


Fig. 5 Version laboratoire du compteur optique. La cuve de grand diamètre permet le prélèvement d'échantillons à fort débit (environ 25 litres/minute).

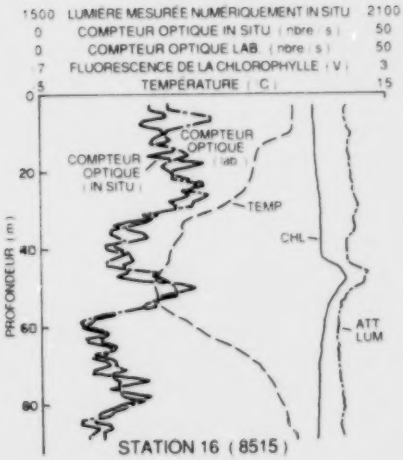


Fig. 6 Profil du plancton obtenu avec le système de pompage de l'IOB. Le profil fourni par le compteur de laboratoire concorde bien avec celui du compteur in situ monté sur le profileur. Le profil d'atténuation de la lumière, également mesuré par le compteur, concorde avec le profil de la chlorophylle relevé au fluoromètre Turner.

teur électronique de particules, installé sur le pont ou dans un laboratoire. Une bonne partie de notre échantillonnage est effectué soit en surface derrière un bateau, soit en station (mais pas au BATFISH), par pompage, de sorte qu'un compteur embarqué peut servir à traiter l'eau pompée qui arrive sur le pont. Nous avons maintenant mis au point un modèle de laboratoire du compteur optique, qui apparaît à la figure 5. Cet appareil a plusieurs avantages par rapport au compteur à cellule de conductivité. La largeur du faisceau lumineux permet d'employer une cuve de bonne taille (diamètre de 2 cm) et un débit élevé, pouvant aller jusqu'à 25 litres/minute, ce qui améliore nettement les statistiques d'échantillonnage. Un tel débit était impossible avec les anciens modèles à cellule de conductivité dont les orifices mesuraient 3 mm.

La version laboratoire du compteur optique sert maintenant régulièrement à traiter les échantillons d'eau de mer prélevés grâce au système de profilage à la pompe. La figure 6 donne un exemple de profil qui montre les couches de zooplancton et l'atténuation de la lumière mesurée avec le compteur de zooplancton, et la fluorescence de la chlorophylle mesurée avec un fluoromètre Turner.

Autres applications de ce compteur optique, le traitement du grand nombre d'échantillons de zooplancton, préservés dans le formol, qui attendent l'analyse dans la plupart des laboratoires océanographiques. Cependant, même si l'analyse microscopique demande beaucoup de main-d'oeuvre et coûte cher, le compteur optique ne remplacera jamais totalement cette méthode, mais permettra d'effectuer très rapidement et à peu de frais les analyses relativement simples.

Le nouveau compteur optique de particules mis au point à l'IOB s'est révélé à la fois polyvalent et pratique dans les études sur la répartition spatiale du plancton, et a suscité une certaine demande à l'échelle internationale et dans d'autres parties de la direction scientifique du MPO. En conséquence, l'IOB en a transféré la technologie à une société canadienne, et le compteur est maintenant produit commercialement et déjà utilisé dans d'autres institutions.

Dans quelle mesure les progrès techniques réalisés à l'IOB et dans d'autres établissements océanographiques depuis 20 ans nous ont-ils permis d'avancer en océanographie biologique? Il est évident que les concepts actuels concernant le fonctionnement de l'écosystème planctonique représentent une grande avance par rapport à ceux d'il y a 25 ans, et c'est grâce à la possibilité de mesurer avec une certaine précision les relations spatiales que nous avons pu ainsi progresser.

La possibilité d'obtenir des données sur la répartition du plancton avec une résolution spatiale de l'ordre du mètre nous a permis d'utiliser l'analyse dimensionnelle formelle, grâce à laquelle nous pouvons maintenant distinguer dans la microrépartition du phytoplancton l'échelle spatiale due aux processus biologiques de celle causée par la turbulence; c'est grâce à l'application de l'analyse spectrale par Platt et Denman (1975), de l'IOB, qui ont utilisé la fluorimétrie, que des progrès notables ont été réalisés dans ce domaine. L'interaction entre la répartition horizontale dans la couche mixte et les ondes internes à la thermocline, qui produit de faux essaims dans les séries de données, a été mise en évidence pour le phytoplancton par Denman et Platt (1975) et pour le zooplancton par Haury *et al.* (1977), de Woods Hole, à l'aide d'échantillonneurs en séries.

Le caractère général de la structure biologique stratifiée présente dans la partie supérieure de la colonne d'eau a été mis en évidence dans de nombreux habitats marins, et les scientifiques de l'IOB ont contribué de façon importante aux idées actuelles grâce au soutien qui leur a été apporté par les ingénieurs et les spécialistes de physique appliquée avec lesquelles ils collaborent depuis la création de l'IOB. Les interactions verticales entre les végétaux, les herbivores et les prédateurs, et les gradients verticaux de la turbulence, de la lumière et de la teneur en matières nutritives sont maintenant bien connues, et sont au coeur de tous les modèles des écosystèmes pélagiques et de leur application à des problèmes pratiques. La production de matière végétale dans toute la colonne d'eau peut être maintenant non seulement mesurée, mais aussi modélisée de façon satisfaisante, comme l'ont montré Herman et Platt (1986), à l'IOB. L'interaction entre le maximum de chlorophylle en profondeur et la structure physique de la partie supérieure de la colonne d'eau a été étudiée de près et dans une vaste gamme d'habitats marins allant de l'Arctique aux tropiques, grâce au BATFISH équipé des capteurs décrits plus haut.

Que nous réserve l'avenir? Les biologistes océanographes sont maintenant en mesure de jouer un rôle actif dans la résolution de problèmes pratiques importants comme la variabilité du recrutement des espèces commerciales de poisson et le rôle du phytoplancton marin dans l'échange de bioxyde de carbone entre l'océan et l'atmosphère. Dans la décennie qui vient, l'océanographie biologique mondiale fera certainement un pas décisif dans l'intégration des bilans du carbone organique, et d'autres variables, à l'échelle du globe ou au moins à celle d'un bassin océanique. Il se trouve que la possibilité d'envisager cette tâche, qui nous est offerte par notre aptitude à modéliser la production dans la couche supérieure de l'océan, coïncide avec la nécessité urgente de mieux connaître et de pouvoir prédire l'évolution des climats de la Terre.

À ce sujet, il faut signaler deux aspects sur lesquels des progrès ont été réalisés à l'IOB dans le domaine de la télédétection biologique. Ces travaux cadrent bien avec les études globales qui tentent d'intégrer les bilans de la production et de la consommation biologique pour des océans entiers, à partir des connaissances nouvellement acquises sur les écosystèmes pélagiques. Platt et Topliss, de l'IOB, étudient les propriétés optiques de la couche supérieure de l'océan et élaborent des algorithmes pour lier la production intégrée de la colonne d'eau aux images satellitaires de la chlorophylle à la surface de la mer, non seulement afin d'estimer indirectement le taux de production d'un océan entier, mais aussi pour en tirer des estimations régionales de la variance de la chlorophylle dans la couche mixte, paramètre critique dans les extrapolations qui sont faites à partir des profils de la production végétale réalisés par mesure directe de l'oxygène ou par mesure du carbone radioactif. Pendant ce temps, Sameoto et Cochrane, de l'IOB, avec l'aide d'autres ministères fédéraux, prévoient de travailler avec une société canadienne spécialisée en génie acoustique (SeaStar d'Halifax), pour mettre au point un système acoustique multifréquence destiné à quantifier le zooplancton et le micronecton en océanographie biologique; cet appareil aura une envergure encore plus grande que le compteur optique de zooplancton.

Références

BOYD, C.M. and JOHNSON, G.W. 1969. Studying zooplankton populations with an electronic zooplankton counting device and the LINC-8 computer. *Transactions of the Applications of Sea Going Computers 7:* 83-90.

DENMAN, K.L. and PLATT, T. 1975. Coherences in the horizontal distributions of phytoplankton and temperatures in the upper ocean. *Mémoire de la Société royale scientifique de Liège 7:* 19-30.

HAURY, L.R., BRISCOE, M.G., and ORR, M.H. 1977. Tidally generated internal wave packets in Massachusetts Bay. *Nature 278:* 312-317.

HERMAN, A.W. 1983. Vertical distribution patterns of copepods, chlorophyll, and production in northeastern Baffin Bay. *Limnology and Oceanography 28:* 709-719.

HERMAN, A.W. and DAUPHINEE, T.M. 1980. Continuous and rapid profiling of zooplankton with an electronic counter mounted on a 'Batfish' vehicle. *Deep-Sea Research 27A:* 79-96.

HERMAN, A.W., MITCHELL, M.R., and YOUNG, S.W. 1984. A continuous pump sampler for profiling copepods and chlorophyll in the upper oceanic layers. *Deep-Sea Research 31:* 439-450.

HERMAN, A.W. and PLATT, T. 1986. Primary production profiles in the ocean: estimation from a chlorophyll/light model. *Oceanologica Acta 9:* 31-40.

LONGHURST, A.R., REITH, A.D., BOWER, L.E., and SEIBERT, D.L.R. 1966. A new system for the collection of multiple serial samples. *Deep-Sea Research 13:* 213-222.

LORENZEN, C.J. 1966. A method for the continuous measurement of *in vivo* chlorophyll concentration. *Deep-Sea Research 13:* 223-227.

PLATT, T. and DENMAN, K.L. 1975. Spectral analyses in ecology. *Annual Review of Ecology and Systematics 6:* 189-210.

SAMEOTO, D.D., JAROSZYNSKI, L.O., and FRASER, B.W. 1980. BIONESS, a new design in multiple net samplers. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 37:* 722-724.

WIEBE, P.H., GURT, K.H., BOYD, S.H., and MORTON, A.W. 1976. A multiple opening-closing net and environmental sensing system for sampling zooplankton. *Journal of Marine Research 34:* 313-326.

Le picoplancton photosynthétique

Trevor Platt et William K. W. Li

En 1962, on pouvait établir ainsi la liste partielle des sujets qui intéressaient les spécialistes de l'écologie du phytoplancton :

i) ampleur de la production primaire dans l'océan;
ii) répartition de la production primaire entre les diverses classes de taille des cellules photosynthétiques;
iii) élaboration d'une théorie qui rendrait compte de la dynamique des matières nutritives dans le phytoplancton;
iv) relation entre la photosynthèse et la lumière;
v) intérêt, pour l'océanographie, de la télédétection, qui en était à ses balbutiements.

De tous ces sujets, seul le premier pourrait être considéré comme un véritable problème, comme le montre la célèbre controverse entre Riley et Steeman Nielsen, et à l'époque cet aspect problématique était probablement ignoré de la plupart des chercheurs. La question de la mesure absolue de la production primaire dans l'océan mondial reste aussi controversée maintenant qu'elle l'était alors, mais en 25 ans nous avons appris à mieux comprendre pourquoi cela constitue un problème. L'évolution de la pensée sur ces cinq thèmes dépend de la perception de leur interrelation, et de l'évolution théorique de l'écologie marine en général. Les chercheurs de la Division de l'océanographie biologique, au Laboratoire d'écologie marine, ont fait d'importantes contributions sur chacun de ces sujets. Notre article traite principalement du second sujet (fractionnement par taille de la production primaire), et particulièrement de la découverte du rôle fascinant que joue le picoplancton dans l'océan. Le lecteur ne manquera cependant pas de sentir le poids des quatre autres aspects.

Depuis une décennie, notre perception de la structure et de la fonction de l'écosystème pélagique se trouve profondément modifiée. Au coeur de la révolution qui s'est produite, on trouve la mise en évidence de l'importance et de la diversité des organismes de très petite taille dans le réseau trophique pélagique. Par « de très petite taille », nous voulons dire mesurant moins de 10 um dans sa plus grande dimension. On pense maintenant que ces organismes, le « microplancton », sont responsables d'environ 90 % du métabolisme de l'océan.

En ce qui concerne la partie photosynthétique de l'écosystème pélagique, la découverte la plus frappante de ces dernières années a été celle de ce qu'on a appelé la communauté du picoplancton. Il s'agit d'organismes mesurant au maximum 2 um de largeur. On les trouve partout dans les couches supérieures de l'océan mondial. Les premiers membres du picoplancton qui ont été découverts étaient des cellules procaryotes appartenant aux cyanobactéries (genre *Synechococcus*) (Johnson et Sieburth, 1979; Waterbury *et al.*, 1979). La taille extrêmement petite des cellules, leur nature procaryote et leurs pigments photosynthétiques inhabituels constituaient des caractéristiques qui les

Kelly Bentham

Bill Li et Tremor Platt devant un cytomètre servant à analyser la répartition du phytoplancton.

différenciaient du phytoplanctonte typique, grosse cellule de diatomée ou de dinoflagellé. On s'est rendu compte par la suite que des cellules eucaryotes appartenant à des groupes taxinomiques divers étaient aussi des membres importants de la communauté constituée par le picoplancton photosynthétique. Il devint vite apparent que, dans certaines circonstances, le picoplancton pouvait être responsable d'une fraction importante de la production primaire dans l'écosystème marin. La Division de l'océanographie biologique a été à la pointe de la découverte grâce aux campagnes du *HUDSON* dans l'est du Pacifique tropical (Li *et al.*, 1983) et l'Atlantique nord subtropical (Platt *et al.*, 1983).

De façon générale, l'importance relative du picoplancton photosynthétique augmente lorsqu'on va du rivage vers le large, des hautes latitudes vers les basses, de l'hiver vers l'été, et du sommet vers le bas de la zone euphotique. Ces généralisations se fondent toutefois sur des observations peu nombreuses, et il reste à vérifier leur solidité.

Dans une étude récente, Joint (1986) examinait des données obtenues sur du picoplancton provenant de diverses régions de l'océan mondial. L'abondance du picoplancton cyanobactérien dans l'océan est généralement de l'ordre de 10 000 cellules/ml. Les maigres données recueillies sur le microplancton eucaryote semblent indiquer une abondance caractéristique qui est d'un ordre de grandeur plus basse dans les eaux du large et plus haute dans les eaux côtières. Ces chiffres sont plus faibles pour les hautes latitudes ou pour les latitudes tempérées en hiver. Dans le lac Ontario, l'abondance du picoplancton cyanobactérien variait de 4 ordres de grandeur au cours de l'année, avec un pic (600 000 cellules/ml) au moment où la température de l'eau était à son maximum (22°C). Dans les eaux côtières du sud de la Californie, le nombre de cyanobactéries variait de 2 ordres de grandeur au cours de l'année, avec un minimum (1 000 cellules/ml) en février. Pendant l'été arctique (température d'environ 0°C), on a signalé une densité de 1 000 cyanobactéries/ml. L'effet de la température sur l'abondance du picoplancton est donc modulé par d'autres facteurs à caractère local.

Il semble que le picoplancton contribue relativement moins à la production phytoplanctonique totale en hiver et pendant la poussée printanière, et relativement plus immédiatement après et pendant les mois d'été (périodes où les concentrations ambiantes de nitrates sont faibles). Une étude menée en mer Celte a indiqué que le picoplancton était responsable de 22 % de la fixation annuelle de carbone total. Dans d'autres secteurs, selon des études non saisonnières, le picoplancton serait responsable de 20 % (à la surface) à 80 % (à 70 m) de la production primaire totale dans l'est du Pacifique tropical, de 60 % dans l'Atlantique nord subtropical, de 80 % au large d'Hawaii, de 27 % au sud de l'Afrique et de 10 à 25 % dans l'est de l'Arctique canadien (été). Il est net que le picoplancton constitue rarement un facteur insignifiant dans la communauté photosynthétique, et qu'il peut souvent la dominer, particulièrement dans les régimes océaniques subtropicaux.

La détection et la numération microscopique du microplancton photosynthétique sont grandement facilitées par l'émission fluorescente de lumière visible que produisent ces cellules lorsqu'elles sont excitées par une lumière présentant une longueur d'onde plus faible. Les algues (et les cyanobactéries) appartenant à des groupes taxinomiques différents possèdent des suites différentes de pigments photosynthétiques. Chaque pigment diffère des autres en ce qui concerne la plage de longueurs d'onde dans laquelle l'excitation et l'émission fluorescente sont maximales. En conséquence, lorsque des pigments se présentent en suites particulières, comme c'est le cas pour chaque groupe taxinomique, il est possible de différencier les organismes à partir de ce qu'on appelle leur « signature spectrale » ou encore la « matrice excitation-émission ». L'application la plus courante de ce principe est la numération en microscopie d'épifluorescence des cyanobactéries riches en phycoérythrine, et la différenciation de ces cellules et des algues sans phycoérythrine dont l'émission fluorescente est due principalement à la chlorophylle *a*.

En microscopie, l'oeil humain est habitué à détecter la fluorescence émise par les cellules qui sont déplacées sur la platine par les mains de l'observateur. Dans une méthode automatisée fondée sur le même principe de détection par autofluorescence des pigments, les tubes du photomultiplicateur électronique quantifient la fluorescence relative des cellules que l'on fait circuler devant une zone d'excitation. Cette méthode, connue sous le nom de cytométrie en continu, ne représente, dans la détection et la numération des cellules vivantes d'après leurs caractéristiques d'autofluorescence, qu'une application très rudimentaire de ces instruments à la recherche sur le phytoplancton. Cette application offre cependant plusieurs avantages par rapport à la microscopie : possibilité d'analyser un nombre beaucoup plus grand de cellules dans un bref laps de temps, différenciation des cellules vivantes selon l'intensité relative de leur fluorescence, et possibilité de caractériser chaque cellule par plus d'une variable (p. ex. émissions fluorescentes dans des plages de longueurs d'onde différentes, dispersion de la lumière à des angles différents) en même temps (fig. 1). La Division de l'océanographie biologique a la chance de posséder un de ces instruments perfectionnés.

L'un des outils employés par les spécialistes de l'écologie phytoplanctonique est la mesure de la réaction photosynthétique à l'augmentation de l'éclairement. Le résultat, qu'on appelle courbe de saturation lumineuse, peut être décrit par une équation générale pour laquelle certaines valeurs des paramètres caractérisent une expérience donnée. Les paramètres retenus sont la pente de la courbe de saturation lumineuse près de l'origine (mesure de l'efficacité de l'utilisation des photons lorsque la densité du flux photonique est faible) et la hauteur du plateau (ce qu'on appelle le nombre d'assimilation, mesure de la capacité des réactions sombres de la photosynthèse). On peut mesurer régulièrement les courbes de saturation lumineuse en mer, et se servir des paramètres calculés pour caractériser les communautés phytoplanctoniques dans des

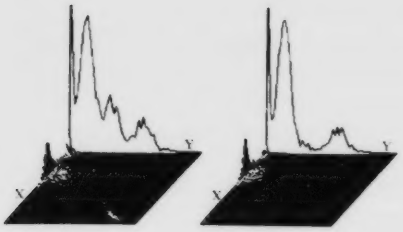


Fig. 1 Analyse par cytométrie en continu du phytoplancton du bassin de Bedford. L'axe des x mesure l'intensité de la fluorescence due principalement à la phycoérythrine. L'axe des y mesure l'intensité de la fluorescence due principalement à la chlorophylle a. *La hauteur au-dessus du plan x-y est une mesure de la fréquence d'occurrence. À gauche : plancton filtré sur maille de 50 um. À droite : plancton filtré sur membrane de 3 um.*

conditions différentes. De plus, par filtration différentielle, il est possible de séparer différentes fractions de taille de la même communauté (fig. 2).

Sur la courbe de saturation lumineuse, la pente initiale dépend à la fois de l'intensité de la photosynthèse en nombre de quanta et du coefficient d'absorption optique des cellules. La courbe de l'absorption, toutes choses

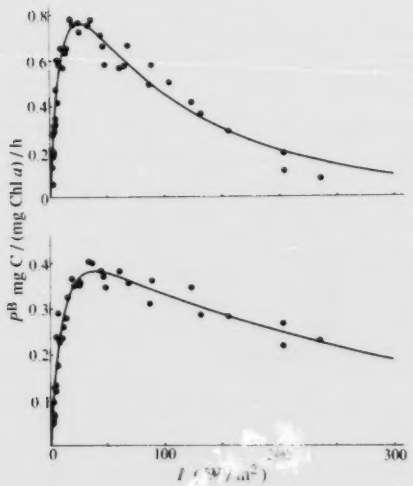


Fig. 2 Courbes photosynthèse-lumière de phytoplancton provenant de la dorsale médio-atlantique. En haut : plancton qui passe à travers une membrane de 1 um. En bas : plancton recueilli sur une membrane de 1 um.

égales par ailleurs, varie en fonction inverse de la taille des cellules. Les cellules du picoplancton sont assez petites pour correspondre à la longueur d'onde de la lumière présente dans la mer. Elles ont donc certainement un avantage sur les grosses cellules dans l'efficacité de l'utilisation de la lumière disponible.

Dans les cultures, c'est *Synechococcus* qui se développe le mieux sous un faible éclairement (45 μE/m/s). Chez le picoplancton naturel provenant de l'Atlantique nord subtropical, l'éclairement optimal pour la photosynthèse était plus bas pour le picoplancton (125 μE/m/s) que pour la fraction de plus grande taille. Les cellules picoplanctoniques étaient aussi plus sensibles à la photoinhibition. Il semble donc à première vue que le picoplancton soit adapté à la vie dans des conditions de faible éclairement, et on relève souvent un pic marqué dans leur répartition verticale au niveau qui correspond au maximum profond de chlorophylle, que l'on trouve généralement aux alentours de 75 m de profondeur dans les eaux du large. À cette profondeur, la photosynthèse du picoplancton est fortement limitée par la lumière, et les cellules tireraient profit d'une plus grande efficacité dans l'utilisation de la lumière. En fait, sur la courbe de saturation lumineuse, la pente initiale est plus élevée pour la fraction picoplanctonique que pour le reste de la communauté.

Ces résultats doivent toutefois être interprétés avec prudence. En effet, dans une colonne d'eau à stratification stable, le phytoplancton adapte ses caractéristiques photosynthétiques aux conditions qui prévalent (photoadaptation). Les populations qui vivent au niveau du maximum profond de chlorophylle dans les eaux du large, zone où l'éclairement est faible, devraient donc s'adapter en augmentant l'efficacité de la photosynthèse et en abaissant le niveau d'éclairement optimal pour la photosynthèse, quel que soit leur statut taxinomique (génotypes). Dans ce contexte, des résultats particulièrement intéressants ont été obtenus dans la baie sous-marine Porcupine et en mer Celte, où des populations adaptées à trois degrés d'éclairement très différents ont pu être prélevées dans la même colonne d'eau à stratification stable. Les courbes de saturation lumineuse de ces échantillons n'ont donné aucune indication nette montrant que le picoplancton serait mieux adapté à un faible éclairement que la fraction de plus grande taille du phytoplancton.

Outre l'éclairement, la qualité de la lumière est un important facteur écophysiologique. En effet, les cellules ne peuvent absorber la lumière que dans la mesure où elles possèdent des pigments compatibles avec les longueurs d'onde présentes :

$$I_{abs} = \int_{\lambda} I(\lambda)\, k(\lambda)\, d\lambda$$

I_{abs} étant la lumière absorbée, $I(\lambda)$ la lumière disponible et k le coefficient d'atténuation optique à la longueur d'onde λ, l'intégration couvrant toute la plage du spectre visible où la photosynthèse est active (environ 400-700 nm). L'eau de mer est un filtre optique puissant et, en pleine mer, la distribution spectrale de la lumière présente un pic élevé dans le bleu au niveau du maximum profond de chlorophylle. Les pigments des cyanobactéries absorbent le mieux les radiations dans la région 500-550 nm, et, selon le critère d'absorption, ces organismes seraient donc bien adaptés à la vie dans les fonds bleus de l'océan. Il existe cependant un autre critère plus important : le spectre d'action photosynthétique (efficience photosynthétique relative sous faible éclairement pour des lumières de couleurs différentes). Il est possible de mesurer la pente initiale de la courbe de saturation lumineuse en lumière monochrome à différentes longueurs d'onde pour établir le spectre d'action. Dans les cultures de populations de picoplancton procaryote et eucaryote, le spectre d'action réflète plus ou moins fidèlement le spectre d'absorption, et le pic de phycobiline est l'élément le plus caractéristique du spectre des cyanobactéries.

Cependant, jusqu'ici, dans les populations testées en pleine mer, le spectre d'action photosynthétique ne montre aucun pic aux longueurs d'onde de ce pigment, même après fractionnement par taille des échantillons, et même dans les échantillons contenant des protéines présentant une forte réaction aux anticorps immunofluorescents dirigés contre la phycoérythrine (c.-à-d. les échantillons contenant des cyanobactéries).

L'azote est un nutriment essentiel pour toutes les cellules. Jusqu'à maintenant, on pensait que le phytoplancton marin ne pouvait absorber cet élément que sous forme combinée (p. ex. ammonium, nitrite, nitrate, composés organiques). L'apport de ces nutriments au phytoplancton joue peut-être un rôle déterminant dans la production primaire océanique. Des études récentes indiquent que certaines cyanobactéries du picoplancton possèdent des mécanismes qui leur permettent de s'adapter au manque d'azote.

Des études menées récemment sur la cyanobactérie du picoplancton marin *Synechococcus* (souche WH7803), qui est riche en phycoérythrine, montre une forte autofluorescence de ce pigment, ce qui indique qu'une bonne partie de la lumière qu'il absorbe n'est pas disponible pour la photosynthèse. En outre, dans des conditions de croissance diverses, on note une faible corrélation entre l'autofluorescence et la quantité de phycoérythrine dans les cellules, ce qui indique que la proportion du pigment consacrée à la photosynthèse est variable. Wyman *et al.*, (1985) ont par la suite montré que, dans la souche WH7803, la perte relative d'énergie par autofluorescence de la phycoérythrine est plus élevée chez les cellules qui bénéficient d'un apport suffisant en azote que chez les cellules qui connaissent un manque d'azote, observation qui vient étayer l'hypothèse selon laquelle la phycoérythrine de WH7803 servirait à la fois à stocker l'azote et à accumuler de l'énergie pour la photosynthèse. Lewis *et al.* (1986) ont aussi montré que l'absorption de lumière dans la longueur d'onde caractéristique de la phycobiliprotéine est bien moins grande chez les cellules en manque d'azote que chez les cellules qui bénéficient d'un apport suffisant en azote. Sur le plan écologique, cela signifierait que ces cyanobactéries seraient en mesure de résister mieux que les autres en période de manque de nutriments en utilisant leurs réserves intracellulaires d'azote accumulées sous forme de phycobiliprotéines.

À partir de mesures faites en mer sur le phytoplancton naturel, on peut indirectement conclure à une inefficacité du transfert d'énergie de la phycoérythrine au centre de réaction de la photosynthèse. Dans la mer des Sargasses, Lewis *et al.* (1985) ont mesuré l'efficacité de la photosynthèse sur douze gammes d'ondes de 25 nm couvrant le spectre visible, et ont trouvé que les résultats étaient relativement faibles dans les gammes d'ondes du vert, où ils comptaient observer l'absorption par la phycoérythrine, cela en dépit du fait que la présence de cyanobactéries riches en phycoérythrine dans les échantillons avait été confirmée par une méthode indépendante. Par comparaison, l'efficacité photosynthétique en lumière verte est élevée chez ces cellules dans les cultures en phase de croissance logarithmique.

Un petit nombre d'espèces unicellulaires marines, parmi les cyanobactéries, semblent posséder un autre moyen pour obtenir l'azote dont elles ont besoin. Elles sont en mesure de réduire l'azote moléculaire en ammoniac en utilisant une enzyme composite appelée nitrogénase. Le phénomène est facile à mettre en évidence car ces cellules peuvent se développer dans un milieu qui ne contient aucune forme d'azote combiné. On a récemment montré (Mitsui *et al.* 1986) que les cyanobactéries picoplanctoniques peuvent réaliser à la fois la fixation de l'azote (qui est inhibée par l'oxygène) et la photosynthèse (qui produit de l'oxygène) en limitant une activité à la période nocturne et l'autre à la période diurne.

La mesure de la fixation de ^{15}N (sous forme combinée ou sous forme de ^{2}N) dans les échantillons de phytoplancton naturel joue un rôle crucial dans l'étude de l'utilisation trophique de l'azote en mer. Chez le picoplancton photosynthétique, cette mesure est difficile parce que ces organismes partagent avec d'autres membres de la communauté picoplanctonique l'aptitude à absorber bon nombre des composés azotés. Bien qu'il existe des données sur l'absorption de l'azote par du picoplancton isolé par fractionnement de taille (W.G. Harrison, compilation inédite), aucune distinction n'est faite entre les phototrophes et les non-phototrophes. On a récemment essayé de répartir l'absorption d'azote par le picoplancton en fonction de l'inhibition sélective des procaryotes et des eucaryotes. Environ 78 % du total de l'absorption d'ammonium était dû aux procaryotes, et d'autres éléments semblent montrer qu'une portion importante de cette activité est due aux bactéries hétérotrophes. À la lumière de résultats comme ceux-ci, nous pouvons voir qu'il sera difficile d'étudier l'utilisation de l'azote par le picoplancton photosynthétique en mer.

Il est possible de détecter le phytoplancton et d'en mesurer l'abondance grâce à des instruments d'optique portés par les satellites, par exemple le scanner à images couleur de la zone côtière (CZCS) porté depuis 1978 par le satellite Nimbus 7. Cet appareil capte la lumière de la mer par 6 canaux, notamment à 443 nm (maximum d'absorption par la chlorophylle) et 550 nm (minimum d'absorption). Étant donné que la source première de cette lumière est le soleil, la procédure appartient à la classe de la télédétection passive. Le rapport entre la lumière captée à 443 nm et 550 nm donne une mesure de la concentration de chlorophylle et donc un indice de l'abondance du phytoplancton. Il reste à savoir si le picoplancton autotrophe procaryote, avec sa structure pigmentaire particulière, entrave de façon notable cette méthode de mesure du phytoplancton. Le grand pic d'absorption de la phycoérythrine dans le vert milite contre l'emploi du rapport $_{443} : _{550}$ comme indice de la concentration de chlorophylle. Par ailleurs, on n'a pratiquement pas pu mettre en évidence dans le milieu naturel l'effet des phycobilipigments caractéristiques des cyanobactéries sur le champ lumineux sous-marin, sur l'absorption spectrale de la lumière par la matière filtrable ni sur le spectre d'action photosynthétique. Les algorithmes de la télédétection pour la chlorophylle sont donc solides.

La fluorescence de la chlorophylle, excitée par le soleil, peut aussi être détectée dans le champ lumineux sous-marin, et dans la lumière renvoyée par la mer qui est captée par les appareils de télédétection, par exemple l'imageur linéaire de fluorescence mis au point au Canada. Étant donné que la photosynthèse et la fluorescence sont des processus réciproques en termes d'absorption des photons, la fluorescence relative peut don-

ner de l'information sur le taux de photosynthèse dans la colonne d'eau. Bien que la fluorescence passive de la phycobiline soit aussi repérable dans le champ lumineux sous-marin, il risque peu, pour les mêmes raisons que dans le cas de la chlorophylle, d'interférer avec les algorithmes qui seraient mis au point pour estimer la production primaire.

Dans l'océan, si la teneur en nutriments est faible, il semble que les cyanobactéries ne présentent pas de concentrations intracellulaires de phycobilipigments aussi élevées que dans les cultures saturées de nutriments. Si c'est le cas, les pigments de type chlorophyllien dominent le champ lumineux sous-marin et les retours de lumière de l'océan servant à la télédétection.

La découverte du fait qu'une communauté de minuscules cellules pigmentées peut être responsable de plus de la moitié de la production primaire totale dans une zone a donné un nouvel élan à la recherche en océanographie biologique. Bien que la communauté soit largement répartie, c'est dans les eaux bleues, loin des côtes, qu'on peut l'observer dans son développement maximum. C'est là le milieu oligotrophe typique, et les membres du picoplancton procaryote présentent au moins deux adaptations importantes à la vie dans un régime ou l'azote est limité : l'aptitude à stocker l'azote dans des complexes pigment-membrane et l'aptitude à fixer l'azote moléculaire. De plus, leur aptitude à pratiquer la photosynthèse avec une grande efficacité à des éclairements très faibles signifie qu'ils sont adaptés à la vie près de la principale source externe d'azote de la zone pélagique euphotique — le flux vertical de nitrate par la base de la couche mixte.

La taille extrêmement faible du picoplancton a mis à l'épreuve l'ingéniosité des chercheurs qui ont dû mettre au point une méthode convenable, ce qui a posé d'autant plus de problèmes qu'il existe une communauté hétérotrophe occupant la même plage de taille. Par ailleurs, la vaste gamme de types de pigments signifie que les progrès récents réalisés en microscopie de fluorescence, particulièrement le tri des cellules à grande vitesse, peuvent être exploités au maximum. Les études sur le picoplancton ont déjà montré par plusieurs exemples clairs qu'il n'est pas possible de généraliser les résultats obtenus sur les cultures sans considérer les conditions qui prévalent dans l'océan lui-même.

Le rôle trophique du picoplancton dans la chaîne alimentaire pélagique reste à étudier. Chez les très petites cellules, c'est la mécanique des fluides qui détermine quels organismes sont capables de les ingérer. Chez les organismes capables d'ingérer le picoplancton photosynthétique, il reste à considérer lesquels d'entre eux sont capables de digérer leurs proies. Les ciliés possèdent un appareil alimentaire présentant la taille convenable, mais l'abondance de la proie semble être trop faible pour que le lien trophique soit viable dans le milieu naturel. De plus, à cause de la très petite taille des cellules, la disparition directe de la zone euphotique par enfoncement serait insignifiante, sauf en cas d'agrégation ou de flocculation considérable. Par ailleurs, une forte croissance demande, dans un état de quasi-équilibre, un taux de prélèvement également fort. Les deux types d'organismes les plus susceptibles de se nourrir du picoplancton semblent être les protozoaires microflagellés hétérotrophes et les formes qui se nourrissent grâce à un filet muqueux. La « boucle microbienne », qui lie les bactéries (qu'elles soient hétérotrophes, se nourrissant aux dépens des exudats de phytoplancton, ou qu'il s'agisse des cyanobactéries photosynthétiques) et le microplancton hétérotrophe, constitue un élément du réseau trophique pélagique dont l'importance reste à mesurer. La découverte du picoplancton photosynthétique a révolutionné nos conceptions de la structure et de la fonction de l'écosystème pélagique dans l'océan. De nombreuses questions restent toutefois sans réponse : l'avenir s'annonce passionnant. Entre-temps, le point sur les connaissances est présenté dans un ouvrage publié sous la direction des auteurs par le ministère des Pêches et des Océans (Platt et Li, 1986).

Références

JOHNSON, P.W. and SIEBURTH, J. McN. 1979. Chroococcoid cyanobacteria in the sea: a ubiquitous and diverse phototrophic biomass. *Limnology and Oceanography 24:* 928-935.

JOINT, I.R. 1986. Physiological ecology of picoplankton in various oceanographic provinces. *Canadian Bulletin of Fisheries and Aquatic Sciences 214:* 287-309.

LEWIS, M.R., WARNOCK, R.E., and PLATT, T. 1985. Absorption and photosynthesis action spectra for natural phytoplankton populations: Implications for production in the open ocean. *Limnology and Oceanography 30(4):* 794-806.

LEWIS, M.R., WARNOCK, R.E., and PLATT, T. 1986. Photosynthetic response of marine picoplankton at low photon flux. *Canadian Bulletin of Fisheries and Aquatic Sciences 214:* 235-250.

LI, W.K.W., SUBBA RAO, D.V., HARRISON, W.G., SMITH, J.C., CULLEN, J.J., IRWIN, B., and PLATT, T. 1983. Autotrophic picoplankton in the tropical ocean. *Science 219:* 292-295.

MITSUI, A., KUMAZAWA, S., TAKAHASHI, A., IKEMOTO, H., CAO, S., and ARAI, T. 1986. Strategy by which nitrogen-fixing unicellular cyanobacteria grow photoautotrophically. *Nature 323:* 720-722.

PLATT, T. and LI, W.K.W. (Editors). 1986. Photosynthetic picoplankton. *Canadian Bulletin of Fisheries and Aquatic Sciences 214:* 583 p.

PLATT, T., SUBBA RAO, D.V., and IRWIN, B. 1983. Photosynthesis of picoplankton in the oligotrophic ocean. *Nature 300 (5902):* 702-704.

WATERBURY, J.B., WATSON, S.W., GUILLARD, R.R.L., and BRAND, L.E. 1979. Widespread occurrence of a unicellular, marine, planktonic, cyanobacterium. *Nature 277:* 293-294.

WYMAN, M., GREGORY, R.P.F., and CARR, N.G. 1985. Novel role for phycoerythrin in a marine cyanobacterium, *Synechococcus* strain DC2. *Science 230:* 818-820.

La gestion des pêches maritimes : perspective historique

Robert N. O'Boyle et Peter A. Koeller

Bob O'Boyle

DEPUIS qu'on parle de gestion des pêches, c'est-à-dire depuis le début du siècle, les biologistes jouent un rôle central dans ce domaine, mais ce rôle s'est considérablement modifié avec le temps, en même temps que changeaient les objectifs de la gestion.

Tout système de gestion de la pêche comporte trois éléments clés : 1) des objectifs, qui définissent les buts de la société en termes biologiques, économiques, sociaux et politiques; 2) des mesures de gestion destinées à faire évoluer le système vers la réalisation des objectifs; 3) une activité de contrôle destinée à évaluer sur une base continue la réussite des mesures prises par rapport aux objectifs — domaine du biologiste. Notre article examine le développement des systèmes de gestion des pêches dans l'Atlantique Nord-Ouest depuis l'établissement de l'Institut en 1962, et le rôle de l'Institut dans cette évolution, du point de vue du biologiste.

La situation en 1962

La Commission internationale des pêcheries de l'Atlantique Nord-Ouest (CIPANO ou ICNAF) a été établie en 1949 par une convention internationale signée par les pays qui pêchaient alors dans cette région. La CIPANO a dirigé et supervisé l'exploitation rationnelle des ressources marines par les pays européens pendant la période de l'après-guerre, où la capacité de capture était en augmentation. Les objectifs de la gestion des pêches à cette époque étaient donc axés sur la conservation. En 1962, les modèles biologiques jouaient déjà un rôle central dans les mesures de gestion prises par la CIPANO.

C'étaient alors, tout comme maintenant, les données disponibles qui définissaient le degré de précision de l'apport des biologistes dans le processus de gestion. Les interactions entre espèces, qui étaient généralement connues, ne pouvaient encore être quantifiées; c'étaient donc les modèles portant sur une seule espèce et un seul stock qui prévalaient. Il existait deux grandes catégories de modèles, qui avaient évolué en parallèle depuis le début du siècle.

Le premier, appelé ici modèle « Beverton-Holt », réduisait la population de poissons à une série liée de bassins de biomasse, chacun constitué par un groupe d'âge différent. La biomasse entrait dans le premier bassin sous forme de recrutement. À mesure que ce bassin avançait dans la population, il augmentait à cause de la croissance et diminuait à cause de la mortalité naturelle et de la mortalité par pêche. En théorie, on pouvait modifier le recrutement, la croissance, la mortalité naturelle et la mortalité par pêche, pour examiner le comportement du système. En pratique, la maigreur des données ne permettait pas de dépasser les hypothèses les plus simples. Beverton et Holt (1957), dans l'ouvrage devenu classique où ils exposent cette approche, soulignent qu'ils cherchaient surtout à déterminer les effets d'une réglementation comme le maillage en mer du Nord, plutôt qu'à mettre au point un modèle général de la population.

Le deuxième modèle, lancé par Schaefer et décrit dans Schaefer et Beverton (1962), considérait la population comme un bassin composite, sans structure d'âge, régi par la dynamique d'une courbe de croissance logistique. Les hypothèses sur la dynamique du stock sont présentées plus directement que dans l'approche Beverton-Holt. Le modèle de la production excédentaire de Schaefer était destiné à mesurer le taux d'exploitation dans les pêcheries de thon

Peter Koeller

du Pacifique. Chez le thon, comme chez de nombreuses espèces tropicales, il est difficile de déterminer l'âge, ce qui interdit d'utiliser un modèle structuré en fonction de l'âge. Cependant, contrairement à la situation que Beverton et Holt ont trouvée en mer du Nord, les séries temporelles de données sur les prises et l'effort étaient longues et convenaient donc à l'approche de Schaefer.

Il existait donc en 1962 deux modèles de base permettant de décrire la dynamique des populations de poisson. À l'origine, les deux avaient le même objectif — établir la base biologique nécessaire à la gestion de pêches spécifiques — mais ils différaient à cause des limites des données. Comme nous allons le montrer, les deux modèles ainsi que les objectifs de la gestion ont évolué entre 1962 et 1976.

La période de transition — 1963 à 1976

La CIPANO constituait une tribune grâce à laquelle les connaissances acquises à l'échelle régionale par les biologistes étaient introduites dans le processus de gestion. Les échanges scientifiques entre la CIPANO et son pendant européen, le Conseil international pour l'exploitation de la mer (CIEM), a permis une évolution parallèle de la gestion des pêches des deux côtés de l'Atlantique.

Il était évident, dès le milieu des années 1960, que la réglementation du maillage, mise en oeuvre en 1957 par la CIPANO, était impuissante à limiter la mortalité par pêche et donc à protéger les ressources. Il était nécessaire d'avoir recours à des restrictions plus directes.

Ces restrictions ont pris en 1970 la forme du total des prises admissibles (TPA ou TAC) pour chaque stock, limite fondée sur le concept de rendement maximum soutenu (RMS ou MSY) du modèle de Schaefer. C'était la première fois dans le monde qu'un organisme international de gestion des pêches employait les TPA pour limiter l'effort de pêche. En 1973, des TPA ont été établis pour tous les stocks exploités dans les zones de la convention de la CIPANO.

On s'est vite rendu compte que le modèle Schaefer, s'il fournissait des estimations à long terme de la production, ne pouvait donner les estimations fiables exigées pour l'établissement annuel des TPA. Il fallait prendre en compte les fluctuations annuelles dans la croissance et le recrutement. C'est Pope qui, en 1972, introduisait un prolongement du modèle Beverton-Holt appelé analyse par cohorte. Cette méthode donnait une méthode simple de calcul permettant de suivre la taille des classes annuelles à mesure qu'elles avançaient dans une population. En conjonction avec des estimations indépendantes de l'abondance, elle donnait une mesure courante de la taille des stocks qui pouvait servir à établir un TPA pour l'année suivante.

À mesure que la réglementation changeait, les objectifs du système évoluaient. Le niveau de capture établi à partir du rendement maximum soutenu (RMS) ou de Fmax (production équivalente selon la méthode Beverton-Holt) se révélait trop élevé pour assurer la conservation des ressources. L'idée de rendement économique maximum s'est fait jour dans cette période. Un certain nombre d'auteurs (p. ex. Doubleday, 1976) ont observé que ce niveau pouvait être atteint si l'on fixait l'effort de pêche à un niveau plus modeste que le niveau du RMS. C'est ce niveau qui a finalement été adopté par la CIPANO. Appelé « FO_1 », il représente un niveau d'exploitation qui tente de préserver le stock tout en optimisant les recettes des pêcheurs.

Au Canada, ce sont principalement des membres de la Station de biologie de St. Andrews qui ont participé à l'élaboration de la stratégie de gestion de la CIPANO. Une partie de ce groupe a été transférée en 1977 à l'IOB. Entre 1962 et 1976, le Laboratoire d'écologie marine de l'Institut s'occupait de recherche plus fondamentale sur le processus de production de poisson.

Roger Bélanger

Des membres du Laboratoire d'écologie marine (Groupe d'océanographie des pêches), en 1967, à bord du navire affrété Acadian Snowbird, *essaient le système de comptage acoustique du poisson avant de quitter la plate-forme Scotian.*

Le Laboratoire d'écologie marine a été créé en 1965 pour étudier les processus qui sous-tendent la production marine. La recherche s'est délibérément axée sur les interactions plurispécifiques dans un écosystème afin d'évaluer les modifications à long terme causées par la pêche et le milieu naturel. Les interactions trophiques ont été définies (p. ex. Kerr et Ryder, 1977), et les relations de taille qui les sous-tendent ont été examinées (Sheldon *et al.*, 1977). La modélisation verticale de Silvert (1982) est un exemple des travaux menés pour modéliser ces interactions complexes.

Outre les études sur le comportement du système, le LEM a lancé un programme dynamique de recherche sur les processus de recrutement. Dans l'article classique qu'il a publié sur le sujet, Ware (1980) décrit la façon dont l'énergie alimentaire est répartie entre la croissance somatique et le développement gonadique chez un individu. Ses résultats ont des incidences sur les questions de recrutement que se posent depuis longtemps les halieutes.

Sutcliffe *et al.* (1977) ont étudié la relation entre le milieu (en l'occurrence l'écoulement du fleuve Saint-Laurent) et le recrutement, et ont trouvé des liens étroits. Ce travail était l'un des premiers à mettre en évidence l'influence de facteurs environnementaux à grande échelle sur les populations de poisson, phénomène qui apparaît dans tous les océans du monde.

Enfin, le LEM a mis au point une méthode directe d'estimation de l'abondance du poisson par des moyens acoustiques. Lancé vers le milieu des années 1960, ce programme est maintenant mené conjointement avec les campagnes de chalutage de la Division des poissons de mer (DPM) pour fournir des estimations plus précises sur les populations de poisson de fonds. Le système à double faisceau, conçu pour mesurer en même temps la taille des poissons et l'abondance, est en cours de mise au point en vue de sa commercialisation.

De 1977 à l'heure actuelle

Extension de la juridiction — Le premier janvier 1977, le Canada a étendu sa juridiction sur les eaux à 200 milles marins. Cette mesure a permis d'envisager une gestion efficace des ressources halieutiques sur notre plateau continental. Le financement des nouveaux travaux de recherche était assuré par le programme de l'extension de la juridiction sur les pêches. Les personnes qui travaillaient sur les questions de gestion à la Station de biologie de St. Andrews ont été mutées à l'Institut pour établir, au sein de la nouvelle Division des poissons de mer, un noyau de chercheurs, qui avait pour mandat premier de donner des conseils aux gestionnaires sur l'exploitation optimale des ressources halieutiques de la plate-forme Scotian. Sur une période de trois ans, les res-

sources financières et humaines ont connu une croissance remarquable.

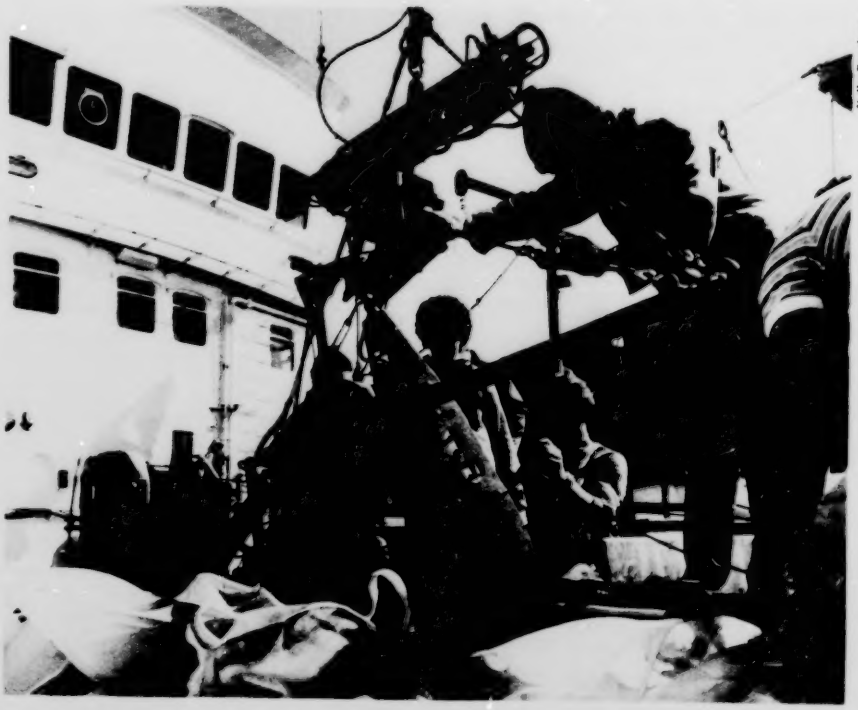
L'aspect administratif de la gestion a été totalement bouleversé par l'établissement de la limite de 200 milles. La CIPANO a été remplacée par l'OPANO (Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest ou NAFO) dont le mandat ne couvrait plus que les ressources situées à l'extérieur de la limite de 200 milles ainsi que celles qui intéressaient principalement les pays étrangers (p. ex. le merlu argenté, l'argentine, le calmar). Le Canada a créé des organismes chargés de la gestion des ressources intéressant les pêcheurs canadiens. Le Comité scientifique consultatif des pêches canadiennes dans l'Atlantique (CSCPCA) est devenu une tribune où les scientifiques de la côte atlantique pouvaient débattre de l'état des stocks et envisager les incidences de diverses stratégies de gestion. Les conseils fournis par le CSCPCA passent aux comités consultatifs de gestion, groupes composés de représentants de l'industrie et du gouvernement qui établissent les plans de gestion pour l'année à venir. Les scientifiques de la DPM doivent alors expliquer, détailler et parfois défendre vigoureusement les avis qu'ils ont fournis.

Progrès réalisés depuis 1977 — Dans un modèle monostock comme le Beverton-Holt ou le Schaefer, il est nécessaire au départ d'identifier et de délimiter le stock. Avant 1977, les stocks étaient définis par les scientifiques de la CIPANO grâce à des campagnes de marquage et à l'étude de la répartition à partir de levés en mer. En 1978, la DPM a lancé le Programme d'étude de l'ichthyoplancton du plateau Scotian pour délimiter les principales frayères de la région. En 1982, ces frayères avaient été repérées (O'Boyle *et al.*, 1984), et les résultats confirmaient les définitions des stocks. De nouveaux programmes de marquage de la morue, de l'aiglefin et de la goberge ont également été lancés pour fournir des données complémentaires sur les migrations et l'interaction des stocks. Ces études ont enrichi de façon notable nos connaissances sur le complexe de populations de poissons présent sur le plateau Scotian.

La plupart des ressources de la Division sont consacrées à la mesure des stocks et à des recherches connexes. L'analyse par cohortes de Pope demande des données précises sur l'âge et la taille à la capture, aussi une bonne partie des recherches portent-elles sur la mise au point de méthodes d'échantillonnage et de stratégies d'analyse pour les statistiques sur les pêches commerciales (p. ex., McGlade et Smith, 1983). Des travaux similaires sont effectués avec les campagnes de levés en mer, qui fournissent des estimations indépendantes de la taille des stocks et servent donc à étalonner les analyses par cohortes. Outre qu'ils améliorent la précision des relevés concernant les poissons adultes, les travaux récents ont permis d'examiner la phase juvénile de diverses espèces en vue de mettre sur pied des relevés du pré-recrutement (Koeller *et al.*, 1986).

L'étalonnage de l'analyse par cohortes a été étudié de près à la DPM. Au départ, on utilisait des régressions géométriques. Les travaux actuels portent sur des méthodes statistiques plus perfectionnées (p. ex., Smith, 1987). Les scientifiques du CIEM poursuivent des travaux comparables en employant des méthodes d'évaluation similaires. Toutefois, sur la côte ouest de l'Amérique du Nord, on a adopté une forme de modélisation pour estimer les populations. À la différence de l'analyse par cohortes, qui ne fait que comptabiliser les classes annuelles par âge, les modèles de la côte ouest (p. ex., Fournier et Archibald, 1982) utilisent une série d'équations qui décrivent entièrement la dynamique du stock et peuvent être résolues à l'aide des données existantes. La DPM s'occupe actuellement d'intégrer les meilleurs éléments de ces deux approches.

Le Programme international des observateurs est administré par la DPM à l'Institut. Outre qu'il complète les activités canadiennes d'échantillonnage, ce programme apporte des données essentielles recueillies en mer sur la pêche étrangère, et permet de prélever des échantillons des captures qui ne sont pas débarquées au Canada. Ces données



Kelly Benthom

Mise en place des barres avant le mouillage du filet Tucker, chalut semi-pélagique fermant de 2 x 2,5m servant à la prise des grosses larves de poisson, des jeunes poissons et des larves de homard, qui sont difficiles à capturer.

sont régulièrement consultées par des personnes n'appartenant pas au secteur de la pêche, par exemple pour la formulation des énoncés des incidences environnementales.

En 1982, la DPM lançait le programme d'écologie des pêches du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse. À cette étude collaborent plusieurs laboratoires de l'Institut et des organismes de l'extérieur. Elle permet de décrire la dynamique des populations dans le stock d'aiglefin de 4X, du recrutement à la capture. Ce projet est similaire à celui que mène le Laboratoire d'écologie marine dans la baie St. Margaret (voir l'article de Loyd M. Dickie), dans la mesure où il adopte une approche globale de l'écosystème, mais a la particularité de porter sur un stock de poisson. Les résultats obtenus seront donc appliqués assez rapidement dans le domaine de la gestion. Le projet doit s'achever en 1987.

La DPM a aussi fait des recherches sur l'interaction poisson-homme. Certains de ses membres ont évalué la capacité de pêche dans la zone troublée du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse. Il a fallu défricher un nouveau terrain d'étude pour définir la capacité et le niveau de capture autorisé. La répartition de la flottille par rapport à la distribution du poisson sur le plateau Scotian a été étudiée en détail (Sinclair, 1985), ce qui a permis d'établir et d'évaluer la prescription de fermetures localisées ou saisonnières au lieu des TPA pour limiter l'effort de pêche. Les chercheurs ont aussi entrepris des travaux sur les conflits entre engins, ce qui a également des incidences en matière de réglementation. Enfin, ils ont lancé des travaux de modélisation pour décrire l'interaction des flottilles dans le temps et dans l'espace et établir la base de modifications plus fondamentales dans les stratégies de gestion (Allen et McGlade, 1986).

Parallèlement aux efforts de la DPM, le LEM a poursuivi ses travaux de recherche fondamentale sur les écosystèmes. Dans le cadre du programme d'études océaniques de l'université Dalhousie, il a entrepris d'examiner de façon approfondie les aspects bioéconomiques d'une pêcherie. Publié en 1977, ce travail représente une contribution importante au domaine.

Pour résumer, les années qui ont suivi l'extension de la juridiction ont été marquées par une nette accélération des recherches menées à l'Institut sur le modèle mis au point par Beverton et Holt pour la gestion des pêches. Les bases de données ont été établies et sont maintenant facilement accessibles tant pour l'évaluation que pour la recherche. Ces progrès ont permis de mieux connaître les organismes qui sont en jeu et de pouvoir mieux répondre aux initiatives prises dans le domaine de la gestion.

L'avenir

Le système de gestion actuellement utilisé sur la côte est du Canada se fonde sur le modèle monospécifique de Beverton et Holt. Les recherches sur les écosystèmes menées par le LEM, la DPM et d'autres indiquent qu'en principe une approche plurispécifique conviendrait mieux. Les travaux en cours au CIEM montrent que l'inclusion des interactions biologiques dans les modèles existants est une question complexe qui demande des données dont le système actuel ne dispose pas. Cependant, comme il a été signalé lors d'un récent colloque du CSCPCA, l'inclusion des données sur les engins ou les interactions technologiques ne dépasse pas les moyens actuels, et leur intégration devrait être sérieusement envisagée. Les objectifs de la gestion mettent l'accent sur les questions socio-économiques, notamment l'efficacité et la répartition de la capture. De plus en plus, on demande aux biologistes de donner leur avis sur la meilleure façon de réglementer la capture, en présence d'intérêts halieutiques concurrents. L'avenir exige maintenant que nous enrichissions les connaissances accumulées depuis 25 ans pour être en mesure de donner des conseils pertinents.

Références

ALLEN, P.M. et MCGLADE, J.M. 1986. Dynamics of discovery and exploitation: The case of the Scotian Shelf groundfish fisheries. Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques 43 : 1187-1200.

BEVERTON, R.J.H. et HOLT, S.J. 1957. On the dynamics of exploited fish populations. *Fisheries Investigation Series II, U.K. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food 19*: 533 p.

DOUBLEDAY, W.G. 1976. Environmental fluctuations and fisheries management. International Commission for the Northwest Atlantic Fisheries Selected Papers 1: 141-150.

FOURNIER, D. et ARCHIBALD, C.P. 1982. A general theory for analysing catch-at-age data. Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques 39 : 1195-1207.

KERR, S.R. et RYDER, R.A. 1977. Niche theory and period community structure. Journal de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada 34 : 1952-1958.

KOELLER, P.A., HURLEY, P.C.F., PERLEY, P., et NEILSON, J.D. 1986. Juvenile fish surveys on the Scotian Shelf: Implications for year-class size assessments. Conseil international pour l'exploration de la mer, Journal du Conseil 43 : 59-76.

MCGLADE, J.M. et SMITH, S.J. 1983. Principle component methods for exploratory data analysis of commercial length-frequency data. Publication spéciale canadienne des sciences halieutiques et aquatiques 66 : 235-239.

O'BOYLE, R.N., SINCLAIR, M., CONOVER, R.J., MANN, K.H. et KOEHLER, A.C. 1984. Temporal and spatial distribution of ichthyoplancton communities of the Scotian Shelf in relation to biological, hydrological, and physiographic features. Rapports et Procès-verbaux des réunions, Conseil international pour l'exploration de la mer 183 : 27-40.

POPE, J.G. 1972. An Investigation of the Accuracy of Virtual Population Analysis using Cohort Analysis. International Commission for the Northwest Atlantic Fisheries Research Bulletin, 9: 65-74.

SCHAEFER, M.B. et BEVERTON, R.J.H. 1963. Fishery dynamics — Their analysis and interpretation. *In* The Sea. Ideas and Observations on Progress in the Study of the Seas. Vol. 2. The Composition of Sea-Water. Comparative and Descriptive Oceanography. *Ed* M.N. Hill. Interscience Publishers; New York; John Wiley and Sons: 554 p.

SHELDON, R.W., SUTCLIFFE, W.H., et PARANJAPE, M.A. 1977. Structure of pelagic food chain and relationships between plankton and fish production. Journal de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada 34 : 2344-2353.

SILVERT, W. 1982. Top-down modeling of multispecies fisheries. Publication spéciale canadienne des sciences halieutiques et aquatiques 59 : 24-27.

SINCLAIR, A.F. 1985. Fishery distribution on the Scotian Shelf. Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques 1347 : 183-193.

SMITH, S.J. (sous presse). Exploring length and weight data from cod: a model guided approach. Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques 44.

SUTCLIFFE, W.H., DRINKWATER, K., et MUIR, B.S. 1977. Correlation of fish catch and environmental factors in the Gulf of Maine. Journal de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada 34 : 19-30.

WARE, D.M. 1980. Bioenergetics and stock and recrutement. Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques 37 : 1012-1024.

Énergétique physiologique du poisson : effets sur la production

Lloyd M. Dickie

Kelly Benham

Lloyd Dickie

LE fait n'est pas assez largement reconnu, mais les scientifiques sont les produits de leur milieu intellectuel et social de la même façon que les poètes, les historiens et les industriels reflètent l'influence de leur époque. Certaines idées et attitudes qui, au départ, semblaient avoir peu de rapport avec ce qui les précédait se manifestent en même temps, de façon soudaine, dans les écrits ou dans les actions, comme si elles ne faisaient que donner une voix à ce qui était dans l'air.

Le secteur de ressources naturelles que constituent les pêches canadiennes a connu, au début des années 1960, une expansion sans précédent à laquelle répondaient dans le domaine des sciences biologiques un sentiment de grande confiance et l'impression que l'horizon était sans limite. L'année de la fondation de l'Institut océanographique de Bedford, on a vu se manifester un vif intérêt pour la mesure de la production biologique et pour l'énergétique physiologique qui la sous-tend et, rétrospectivement, on peut considérer 1962 comme une année charnière. Les publications de l'époque montrent que les chercheurs se détournaient de la physiologie des organismes pris individuellement et découvraient qu'il était nécessaire et possible de traduire cette science « fondamentale » en énergétique appliquée aux populations qui permettrait de déterminer ce qui régit la production, et donc le rendement, dans des pêches en plein développement. Dans l'industrie comme dans la gestion, les vieilles attitudes de prudence dans l'exploitation apparaissaient comme une chape d'habitudes économiques et sociales qu'on pouvait enfin rejeter. De tous côtés, on sentait qu'il était possible de tirer davantage des stocks naturels. Il s'agissait seulement de quantifier cette hausse. C'est l'expansion des sciences qui apporterait les connaissances nécessaires.

La confiance accordée à la physiologie des individus, qui devait apporter les nouvelles connaissances, apparaît dans les principales publications scientifiques de l'année. J.R. Brett, dans son article important sur le métabolisme de la respiration du saumon (''Some considerations in the study of respiratory metabolism of fish, particularly salmon''), venait étayer les idées de F.E.J. Fry sur la classification des facteurs environnementaux ayant des effets sur la physiologie du poisson et ouvrait la voie à ses propres travaux à venir sur la dépense énergétique de la locomotion chez le poisson. En même temps, l'American Fisheries Society soulignait la publication par l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada (ORPC), de sa traduction du monument de Winberg sur le métabolisme et les besoins alimentaires des poissons (''Rate of Metabolism and Food Requirements of Fishes'') et la parution du premier bulletin de l'Office, une étude de John Strickland sur la mesure de la production du phytoplancton marin (''Measuring the production of marine phytoplankton''). La Yale University Press publiait la traduction, importante malgré ses faiblesses, de l'ouvrage classique d'Ivlev sur l'écologie expérimentale de l'alimentation des poissons (''Experimental Ecology of the Feeding of Fishes''), tandis que Blaxter et Holliday faisait paraître leurs vastes travaux sur le comportement et la physiologie du hareng et d'autres clupéidés (''The Behavior and Physiology of Herring and other Clupeoids''). L'année 1962 a aussi vu la publication d'un des derniers articles scientifiques dus au Dr. A.G. Huntsman, toujours actif malgré son départ à la retraite, intitulé ''Method of ecology-ectology'', dans lequel l'auteur tente, avec le même goût des aphorismes que dans ''How water makes Fisheries'', d'orienter les jeunes chercheurs vers une science halieutique appliquée dans laquelle entreraient à part égale la physiologie et l'étude de l'environnement — combinaison qui bien souvent était absente des recherches

Kelly Benham

À bord du nsc Dawson, *Jeff McRuer relève un filet vertical à plancton de faible maillage à une station sur le banc Browns.*

antérieures. Le monde scientifique de 1962 était sûr d'avoir les moyens de décrire à la fois la physiologie et l'environnement d'un poisson, et pensait avoir pratiquement résolu le problème de la conversion de cette information en connaissances sur la quantité d'énergie disponible pour soutenir une augmentation de la production de poisson.

Certains éléments montraient aussi comment les percées scientifiques devaient traduire la recherche fondamentale en études sur les populations. En 1962, John Teal publiait une éminente étude sur le flux énergétique dans l'écosystème des marais salés de Géorgie ("Energy flow in the salt-marsh ecosystem of Georgia"), tandis que l'important travail de Slobodkin sur l'énergie en écologie animale ("Energy in animal ecology") précisait comment utiliser les données sur l'efficacité physiologique chez l'individu pour mesurer la production au niveau des populations et des communautés. La configuration du corps de connaissances nécessaires pour donner des conseils pratiques en matière de pêche ne semblait pas causer des problèmes. Le fait que le coût, la complexité ou le temps nécessaire pour recueillir ces connaissances n'étaient que faiblement perçus, et n'avaient aucun rapport avec le rythme d'évolution d'une industrie à la recherche d'une orientation, ne parvenait pas à gâcher l'atmosphère générale d'optimisme et de progrès.

Comme c'est souvent le cas dans la croissance des connaissances humaines, cette période d'expansion et de grandes espérances n'a pas permis aux protagonistes de reconnaître que certains éléments clés manquaient encore. Ironie du sort, l'une des idées, qui sont maintenant considérées comme essentielles, avait été trouvée cette année-là, mais n'avait pratiquement pas été remarquée ni appréciée à sa juste valeur car elle était apparue dans l'obscurité relative (pour les spécialistes des pêches) du *Bulletin of Mathematicals Biophysics*. C'est dans cette revue que, en 1962, Robert Rosen publiait son article modeste et apparemment simple sur l'analyse dimensionnelle, sous le titre peu accrocheur de "The derivation of D'Arcy Thompson's theory of transformation from the theory of optimal design". Il allait falloir encore près de vingt ans de recherche et de développement avant que son emploi de l'analyse dimensionnelle soit reconnu comme la méthode nécessaire pour mettre sur une échelle commune de population la physiologie et l'énergétique d'organismes se situant à des niveaux différents d'évolution et d'agrégation. Rosen montrait comment les remarquables règles établies par D'Arcy Thompson pour transformer une forme animale en une autre offraient une base permettant de procéder à une étude vraiment comparative de la physiologie et de l'écologie. Mais avant que cette découverte puisse être considérée comme une généralisation importante pour la science halieutique, il était nécessaire de repérer d'autres éléments clés et de les tirer de l'océan des possibilités.

Il a fallu près de trois ans après l'ouverture de l'Institut pour que l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada en vienne à accorder sa perspective avec ses ressources et à participer entièrement au développement de l'Institut. En 1965, sous la direction et grâce aux encouragements de son président F. Ronald Hayes, l'Office créait le Laboratoire d'écologie marine. Conformément aux idées du temps, le laboratoire était doté d'un mandat à caractère expérimental dans les sciences biologiques au Canada. Pour la première fois, un laboratoire était chargé d'intégrer l'étude de la physiologie de la production de poisson à celle des processus de production dans les chaînes trophiques menant au poisson. De bien des façons, les années suivantes ont réalisé la promesse de cette vaste approche sur les facteurs qui régissent la production de poisson, justifiant ainsi la confiance des fondateurs du laboratoire, qui étaient persuadés de sa nécessité. En fait, comme le montrent les lignes ci-dessous, certains des principaux aspects du développement des connaissances dans le domaine de l'énergétique physiologique des populations de poisson pendant les vingt années qui ont suivi s'identifient à l'histoire de la recherche en laboratorie.

Les travaux de biologie menés à l'Institut dans les années 1960 étaient influencés par l'esprit général d'aventure et d'expansion lié à sa localisation en Nouvelle-Écosse. La recherche scientifique se situe cependant dans un réseau où des échanges de pensées, de questions et d'objectifs lient une communauté qui transcende les frontières locales, nationales ou politiques. Les études sur l'énergétique physiologique des populations de poisson ont donc commencé à l'Institut dans un style qui était bien celui de l'époque. Les travaux menés par Teal sur l'écosystème des marais salés dans le sud des États-Unis étaient un prolongement des recherches effectuées auparavant par Steele en mer du Nord, et ces exemples, entre autres, ont guidé les scientifiques du LEM qui étudiaient les flux d'énergie sur le plateau Scotian et dans la baie St. Margaret, microcosme qu'ils avaient choisi comme laboratoire écologique. Leurs premiers résultats apparaissent, par exemple, dans les articles de Brodie (1975) sur l'énergétique des cétacés ou de MacKinnon (1973) sur l'énergétique des plies. Les problèmes perçus ont aussi poussé Mann (1969) à examiner les méthodes de mesure de la production, et Kerr (1970) à mettre en évidence les rapports entre la taille des aliments et la longueur de la chaîne trophique dans les écosystèmes naturels, et à découvrir (1971, 1977) les séquences ordonnées de l'efficacité de la production dans des communautés de poissons simples et complexes.

Au début des années 1970, les membres du LEM ont commencé à adopter dans leur recherche un point de vue qui divergeait quelque peu de celui qui était alors monnaie courante. Dans l'ensemble du monde, les scientifiques semblaient s'accorder sur le fait que l'énergétique des populations devrait être facile à quantifier en termes d'agrégation des propriétés des individus. Avec l'expansion presque explosive de l'informatique, de nombreux scientifiques se sont tournés vers le domaine des modèles gigantesques et complexes de simulation sur ordinateur. Le mouvement a entraîné une bonne partie de la recherche biologique vers les horizons que promettait le Programme biologique international. Cependant, tandis que Brylinski et Mann (1973) apportaient leur contribution au PBI en géné-

ralisant la productivité des systèmes dulçaquicoles à l'échelle du monde, deux courants de pensée importants mais différents se développaient au laboratoire. Le premier, qui était le fruit direct des travaux de recherche menés pendant la campagne Hudson 70, ressortait de l'article de Sheldon *et al.* (1972) sur la répartition par taille des « particules » vivantes en mer, à partir d'observations réalisées dans l'Atlantique et le Pacifique. Les principaux éléments de cette étude sont présentés ci-dessous, car elle a donné un élan à une bonne partie des travaux qui allaient suivre sur la production. Entre—temps, l'intuition de Sutcliffe, autre chercheur du laboratoire, l'avait amené à s'intéresser à un second élément de la productivité d'un écosystème d'une manière qui ne cadrait pas avec le gigantisme des modèles informatiques alors à la mode. La biomasse et le taux de renouvellement des populations de la baie St. Margaret avaient été mesurés par l'équipe de scientifiques qui y travaillait. Sutcliffe lui-même pensait que le bilan de l'azote était un élément clé pour la compréhension des phénomènes. Cependant, lorsqu'il appliqua sa méthode de mesure à la baie, il trouva qu'il ne pouvait rendre compte que de la moitié de la quantité d'azote nécessaire. La quantité manquante devait être apportée au système par advection grâce à une combinaison d'effet éolien et d'écoulement de surface, qui amenait dans la baie les eaux profondes, riches en azote, provenant de la plate-forme continentale. La productivité et ses fluctuations devaient donc être conditionnées en bonne partie par les évènements météorologiques. Dans quelle mesure cette situation était-elle générale, et comment pouvait-on vérifier cette théorie?

Vers la même époque, les chercheurs de l'Institut commençaient à s'intéresser au vaste moteur thermique que représente sur le plan climatique le golfe du Saint-Laurent. Les possibilités de modification du climat local par le développement hydro-électrique semblaient importantes, et les opinions convergeaient vers le fait que ce système demandait une étude spéciale (Dickie et Trites, 1984). Bien que le monde scientifique n'ait pas réussi à persuader le ministre des Pêches et de l'Environnement qu'il fallait en priorité accorder des fonds à la recherche sur le golfe, les publications sur le sujet ont amené Sutcliffe à penser que la région pouvait représenter un exemple de circulation estuarienne à grande échelle, comparable à celle de la petite baie St. Margaret, à laquelle il s'était intéressé. Dans les sciences, les théories élaborées dans une situation doivent être vérifiées dans un autre contexte. Le golfe du Saint-Laurent semblait l'endroit où vérifier dans quelle mesure l'environnement, par l'advection d'azote, pouvait régir les fluctuations de la productivité dans les systèmes biologiques menant aux poissons.

Il faut rendre hommage à Sutcliffe, et à son associé Drinkwater, qui ont vu dans quelle mesure les paramètres météorologiques perceptibles dans la décharge du fleuve Saint-Laurent pourraient servir à mesurer l'apport d'azote des eaux profondes au système de production. Ces chercheurs ont aussi déterminé que la meilleure façon d'obtenir un indice de la production biologique pour une année donnée consistait à rapporter l'abondance apparente des espèces pêchées aux années où les poissons avaient été produits. Ce raffinement des débuts de la théorie a toutefois été presque oublié dans l'onde de choc suscitée par la corrélation étroite qui est apparue lorsque les deux séries de données, laborieusement compilées, ont enfin été rapprochées. Les relations montraient clairement que les chercheurs avaient trouvé une clé apparemment simple permettant de mesurer les effets de l'environnement sur la production. Toutefois, les mécanismes agissant sur les populations n'étaient pas évidents, pas plus que les raisons des différences marquantes dans les effets des paramètres environnementaux sur diverses espèces. C'est la force de la relation entre ce simple indice et les fluctuations de la production dans un vaste bassin océanographique qui donnait aux résultats une importance trop grande pour qu'on puisse les ignorer.

Les remarquables résultats qui ont semblé découler de ce travail sur la relation entre la production et l'environnement ont immédiatement attiré l'attention, ce qui dans une certaine mesure a occulté l'une des importantes généralisations qui le sous-tendaient. En effet, la réussite de ces chercheurs confirmait le principe, adopté par d'autres scientifiques du Laboratoire, selon lequel les percées réalisées en écologie dépendent plus d'une bonne conception des mécanismes de contrôle, liée à une manipulation intelligente des échelles d'agrégation sur lesquelles fonctionnent les variables, que des modèles complexes de simulation comme ceux du PBI. Cela ne signifie pas qu'une information détaillée combinée à des analyses plus approfondies n'apportera pas davantage de connaissances. Welch (1986) a montré avec élégance que la force apparente de la relation entre le stock et le recrutement pourrait être nettement accrue si on appliquait aux séries de données existantes des méthodes permettant d'éliminer les forts signaux environnementaux qui se manifestent aux basses fréquences. Mais l'approche de Sutcliffe et de ses collègues a montré clairement que, pour que la science halieutique soit utile, il faut découvrir les mécanismes de

Roger Belanger

D^r André Mallet et Ken Freeman mesurent des moules représentant des stocks génétiquement identifiés vivant dans différents inlets de la Nouvelle-Écosse. Les paramètres de productivité qu'ils ont établis permettent de relever les relations générales en fonction de la taille chez les organismes marins.

fonctionnement du système et les introduire de façon indépendante dans les modèles, de la manière que Silvert (1981) a appelée « modélisation de haut en bas ». Avec quelques années seulement de recul, les attentes du PBI, selon lesquelles des simulations massives et complexes fondées sur une montagne de détails précis donneraient des résultats utiles, ont commencé à paraître très naïves.

Les travaux de Sheldon *et al.* (1972) avaient illustré les mêmes principes. À partir de leurs courbes des concentrations de particules de taille allant de la bactérie au zooplancton, dans des régions aussi éloignées les unes des autres que l'équateur et les mers polaires, ils avaient commencé à relever des configurations caractéristiques. Influencés de façon peut-être subliminale par les vues de Gordon Riley (1963) sur la théorie des relations trophiques dans l'océan ("Theory of food chain relations in the ocean"), et par ce que cet auteur appelait "thon potentiel", ces chercheurs ont usé d'imagination pour extrapoler et projeter les configurations observées dans le domaine des poissons et des cétacés, élaborant ce qui est devenu un spectre de taille de la biomasse dans les eaux océaniques. Les observations et la justification de l'extrapolation ont été bien acceptées, mais cette acceptation laissait aux scientifiques le sentiment inconfortable que donne toujours un fait scientifique s'il n'est pas étayé par une théorie. Cette lacune évidente ne pouvait que susciter d'autres recherches.

Les courants magiques de créativité produits par cette vue simple mais globale de la structure des communautés biologiques en mer a injecté une nouvelle vigueur dans l'examen de l'énergétique physiologique du poisson, vigueur qui se maintient depuis 15 ans, depuis sa présentation dans la revue *Limnology and Oceanography*. C'est Kerr (1974) qui a indiqué le chemin. Cet auteur a montré que la constance des relations concernant la taille du corps doit dépendre des taux métaboliques, couplés aux rapports typiques de taille prédateur-proie et à l'efficacité de la croissance. L'idée que la relation dépendait d'une sorte de stabilité des relations allométriques dans une analyse dimensionnelle peut rétrospectivement être vue comme un écho du thème avancé par Rosen plus de 10 années auparavant. Cependant, malgré un intérêt croissant pour l'allométrie et l'analyse dimensionnelle, comme le montrent les travaux de Gunther (1975) et de Calder (1976, 1981), on ne reconnaissait pas encore nettement les possibilités de cette analyse pour la comparaison de données provenant de sources différentes. Même l'idée de Ware (1978) selon laquelle on pouvait voir la bioénergétique du problème stock-recrutement en rapport avec l'environnement comme un problème d'analyse dimensionnelle par rapport à la taille du poisson, ne semblait pas trouver d'oreilles attentives ni intéressées.

Vers la fin des années 1970, ces premières tentatives d'analyse dimensionnelle avaient commencé à se manifester plus nettement avec les publications de Platt et Denman (1977, 1978), Silvert et Pratt (1978), et Platt et Silvert (1981), sans toutefois qu'il y ait beaucoup de liens avec les travaux de Kerr et de Rosen. Enfin, ces idées éparses ont commencé à s'exprimer de concert, avec la publication vers le même moment, mais avec des origines totalement différentes, d'articles de Humphreys (1979, 1981), Banse et Mosher (1980) et Bamsted et Skjoldal (1980), et ont rapidement été reprises dans les travaux de Schwinghamer (1981, 1986), Petersen et Wroblewski (1984) et McGurk (1986).

Toutes ces études se rejoignaient sur un thème central : il existe une forte dépendance allométrique des paramètres de la production à l'égard de la taille corporelle, fait dont, au départ, Kerr (1974) avait montré qu'il constituait la base du spectre de taille de la biomasse. La foule de données provenant de nombreuses sources n'a plus laissé aucun doute sur le caractère général de ces relations physiologico-énergétiques. Banse et Mosher (1980) avaient même trouvé pour leur exposant allométrique une valeur identifique à celle que proposait Dickie (1972) dans une étude antérieure sur la dépendance par rapport à la taille dans les relations écologiques des chaînes trophiques menant à la production de poisson. Deux autres pas ont rapidement été faits : tout d'abord, Sprules et ses collaborateurs (1980, 1986) ont montré que, lorsqu'on normalise le spectre de taille de la biomasse selon la proposition de Platt et Denman (1978), les courbes obtenues semblent stables et caractéristiques de certaines grandes masses d'eau. Deuxièmement, Dickie *et al.* (sous presse, a) ont montré que lorsque les relations concernant la taille corporelle sont résolues sur deux échelles séparées, l'une reflétant l'influence biologique du métabolisme et l'autre l'influence écologique de l'espacement des animaux par rapport aux besoins en nourriture, les modèles obtenus permettent d'estimer la production avec une précision qu'il n'était pas possible d'atteindre auparavant.

Une fois de plus, nous voici en mesure d'envisager dans une perspective nouvelle les facteurs qui commandent le rendement de la pêche. L'équilibre entre la physiologie et l'environnement, prévu par Huntsman, a été réalisé, mais peut-être sous une forme inattendue, et on note un renouveau d'intérêt pour son application aux pêches. Il est trop tôt pour juger précisément du progrès accompli. Une tentative récente d'utilisation de cette nouvelle méthodologie dans les Grands lacs (Linch *et al.*, sous presse) montre qu'elle donne des estimations du rendement et de ses rapports avec la pêche qui sont meilleures que celles de toutes les autres méthodes. Selon Dickie *et al.* (sous presse, b), les mêmes idées peuvent servir à lancer une nouvelle méthode d'évaluation. Les premiers résultats sont très encourageants pour la recherche future.

Les scientifiques disent souvent que, lorsque la nécessité de nouvelles données se fait sentir, il est déjà trop tard pour tenter de les obtenir. Comme pour en donner la preuve, tandis que la recherche scientifique connaissait un développement rapide, l'industrie, comme l'attitude générale qui avait au départ donné l'élan à la recherche, souffrait des vicissitudes extrêmes, atteignant de nouveaux sommets, puis tombant près du désastre économique, pour enfin se reprendre et trouver une nouvelle vitalité. Le chaos de la fin des années 1970, avec l'effondrement du système de gestion incarné par la Commission inter-

nationale des pêcheries de l'Atlantique Nord-Ouest, nous a laissé un enseignement précieux. Finie la croyance naïve qu'il suffisait de connaître le potentiel de capture pour assurer un développement harmonieux de l'industrie. Les décalages entre les plans et leurs résultats, couplés à de nombreuses interactions sociales et économiques, devraient suffire à nous convaincre que nous traitons de systèmes complexes qui présentent des comportements particuliers (Allen et McGlade, 1986). L'information de gestion nécessaire dans le contexte moderne consiste en une combinaison de projections à court et à long terme et d'une sensibilité à l'échange d'information et d'objectifs qu'on ne pouvait même pas envisager il y a 25 ans. L'aspect le plus encourageant de la situation actuelle est le fait que le progrès scientifique au niveau de la production et du système de contrôle a suivi le même rythme que ses « clients » potentiels. À l'heure actuelle, l'industrie et la science semblent en bonne posture pour entreprendre conjointement le développement de l'information de gestion, conscientes que, du côté scientifique, les modèles ont été testés dans le champ de la théorie écologique à un degré qui n'avait jamais été atteint. Il reste à savoir si cette base est assez solide pour que chaque élément du système de gestion puisse en tirer la part de responsabilité qu'il doit assumer en matière de prévisions.

Références

BANSE, K. et MOSHER, S. 1980. Adult body mass and annual production/biomass relationship of field populations. *Ecological Monographs 50:* 355-379.

BRODIE, P.F. 1975. Cetacean energetics, an overview of intraspecific size variation. *Ecology 56:* 152-161.

DICKIE, L.M. 1972. Food chains and fish production. International Commission for the Northwest Atlantic Fisheries, *Special Publication Number 8:* 201-219.

DICKIE, L.M., KERR, S.R., et BOUDREAU, P.R. sous presse, a. Size-dependent processes underlying regularities in ecosystem structure. *Ecology.*

DICKIE, L.M., KERR, S.R., et SCHWINGHAMER, P., sous-presse, b. An ecological approach to fisheries assessment. *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques.*

KERR, S.R., et MARTIN, N.V. 1970. Trophodynamics of lake trout production systems. *In* Marine Food Chains; *Ed.* J.H. Steele. Berkeley, California; University of California Press: 365-376.

KERR, S.R. 1974. Theory of size distribution in ecological communities. *Journal de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada 31* : 1859-1862.

MANN, K.H. 1969. The dynamics of aquatic ecosystem. *Advances in Ecological Research 6:* 1-81.

MACKINNON, J.C. 1973. Analysis of energy flow and production in an unexploited marine flatfish population. *Journal de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada 30* : 1717-1728.

PLATT, T. et DENMAN, K. 1978. The structure of pelagic marine ecosystems. Conseil international pour l'exploration de la mer, *Rapport et procès-verbaux des réunions 173:* 60-65.

PLATT, T. et SILVERT, W. 1981. Ecology, physiology, allometry and dimensionality. *Journal of Theoretical Biology 93:* 855-860.

RILEY, G.A. 1963. Theory of food chain relations in the ocean. *In* The Seas Volume 2; *Ed.* M.N. Hill. New York, New York; Interscience Publishers: 438-463.

SHELDON, R.W., PRAKASH, A., et SUTCLIFFE, W.H. Jr. 1972. The size distribution of particles in the ocean. *Limnology and Oceanography 17:* 327-334.

SILVERT, W.L. 1981. Principles of ecosystem modelling. *In* Analysis of Marine Ecosystems; *Ed.* A.R. Longhurst. London; Academic Press: 651-676.

SPRULES, W.G. et MUNAWAR, M. 1986. Plankton size spectra in relation to ecosystem productivity, size and perturbation. *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques 43* : 1789-94.

SUTCLIFFE, W.H., Jr., DRINKWATER, K., et MUIR, B.S. 1977. Correlation of fish catch and environmental factors in the Gulf of Maine. *Journal de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada 34 : 19-30.*

Histoire des mouillages d'instruments océanographiques à l'IOB

Clive Mason

. . . la phase de R & D n'est qu'une étape très courte du long trajet qui mène de l'idée première à la commercialisation de l'invention, et qui constitue le processus d'innovation.

Pierre L. Bourgault (1972)

Kelly Benham

Clive Mason

PENDANT l'hiver 1985-1986 a été réalisé le programme conjoint d'études des tempêtes dans l'Atlantique canadien. Dans le cadre de cette entreprise interdisciplinaire rassemblant le LOA, le CGA, le Service de l'environnement atmosphérique (MDE) et plusieurs universités, une batterie d'instruments a été mouillée sur le plateau Scotian. Pendant les cinq mois qu'a duré la phase de collecte des données, nous avons laissé en place des séries de courantomètres, de marégraphes de fond et d'anémomètres, et des bouées de surface à l'ancre pour mesurer à la fois le vent et les vagues.

Le coût de remplacement de l'ensemble se montait à environ 1,5 million de dollars; nous avons perdu pour 21 000 $ de matériel, soit 1,4 %. Pendant l'expérience, non seulement les données étaient enregistrées de façon interne par les appareils mouillés, mais

une bonne partie de l'information était transmise en temps presque réel, par satellite et par liaison radio HF, à un système d'enregistrement placé à terre, d'où elle était envoyée pour le traitement à l'ordinateur central de l'Institut. Nous avons réussi à récupérer des données utilisables sur plus de 80 % de toutes les mesures possibles; en octobre 1986, le traitement des séries de données était terminé, et des données dont on connaissait la précision et la résolution pouvaient être soumises à l'analyse (Anderson, 1986).

Depuis 1983, dans le cadre de notre programme d'étude des grands fonds, nous avons mouillé au total 36 batteries d'appareils pour une durée d'un an ou plus. L'enregistrement moyen par courantomètre dépasse maintenant 100 jours.

Les chercheurs disposent aujourd'hui d'une technologie éprouvée pour concevoir, mouiller, récupérer les instruments et traiter les données dont ils ont besoin pour leurs travaux. Pour chaque batterie d'instruments, il faut préparer des spécifications techniques à partir de l'expérience recueillie sur plusieurs années et après de nombreux tests de conception. Un programme de contrôle de la qualité permet de procéder à une inspection soignée de chaque composante des instruments mouillés en fonction d'une norme connue. Hartling (1986) décrit en détail nos méthodes actuelles, notamment la planification de projets, les fiches de vérification des instruments, la conception mécanique des ancrages et l'examen du rendement après mouillage. Le traitement des données se fait de façon rapide et efficace grâce à des systèmes de traitement automatique éprouvés, et les données traitées sont versées aux archives du MPO un an ou deux après la collecte.

Depuis 25 ans, l'IOB s'intéresse aux instruments qui sont mouillés en mer pour une longue durée, comme le font tous les autres grands organismes océanographiques du monde. Les échanges technologiques entre instituts ne se font en général pas par la voie officielle, et c'est aux réalisations de chacun, plutôt que par des rapports officiels, que l'on peut juger les résultats des progrès réalisés à l'IOB et ailleurs. L'IOB possède toutefois un programme sérieux et cohérent de technologie des instruments océanographiques et de traitement des données, et détient une série de rapports inédits qui relatent les innovations nécessitées par l'établissement d'un plan expérimental pour le programme d'étude des tempêtes.

Le tableau 1 présente le nombre de jours d'enregistrement des données au courantomètre, depuis 1963. Au cours de l'année 1963, nous avons versé les 715 premiers jours de données aux archives de l'Institut; en 1985, nous avions accumulé un total de 154 000 jours, et à l'heure actuelle notre rythme annuel d'acquisition des données est environ 16 fois supérieur à celui de 1963.

Un article de Bohnecke (1955) décrivait la gamme des courantomètres et des méthodes de mesure des courants qui étaient utilisés il y a 31 ans. Il n'existait pas alors d'instruments électroniques auto-enregistreurs avec traitement automatique des données, et la panoplie d'instruments était limitée à quelques dispositifs électromécaniques ingénieux mais difficiles à utiliser et peu fiables. Il n'était pas possible de laisser des instruments mouillés pendant de longues périodes, et l'auteur prévenait d'ailleurs ses lecteurs contre le coût élevé de cette technologie, et il pensait que rares étaient les instituts qui avaient les moyens de l'utiliser.

En 1963, l'avenir était plus clair; l'Institut avait un programme de mouillage d'instruments enregistreurs, établi à partir de travaux menés antérieurement par la Station de biologie de St. Andrews (Nouveau-Brunswick), et aussi par le groupe des marées et des courants, relevant du Service hydrographique du Canada, qui avait quitté Ottawa pour venir s'installer à l'Institut (Farquarson et Longford, 1961). Les premiers courantomètres enregistreurs avaient été acquis pour des études

Tableau 1. Emploi des courantomètres de 1963 à 1985

Année	Total des jours d'enregistrement	Moyenne de jours par enregistrement	Nombre d'enregistrements	AAND	BRCN	HW	VACM	Autres
1963	715	17	41	0	0	32	0	9
1964	361	17	21	0	0	21	0	0
1965	785	13	60	0	32	28	0	0
1966	1442	24	60	0	38	22	0	0
1967	2761	29	93	0	51	42	0	0
1968	3346	30	108	0	43	50	0	15
1969	3023	29	102	0	46	53	0	3
1970	2658	20	127	0	53	70	0	4
1971	2518	24	101	1	65	32	0	3
1972	2219	28	77	0	43	34	0	0
1973	2706	32	83	20	41	15	0	7
1974	3245	35	91	69	13	4	2	3
1975	4673	52	89	70	17	2	0	0
1976	8311	76	109	81	24	3	0	1
1977	7647	94	81	71	9	0	1	0
1978	9827	94	104	100	0	0	4	0
1979	13463	97	138	134	0	0	4	0
1980	13214	125	105	102	0	0	3	0
1981	10439	91	114	106	0	0	6	2
1982	13466	111	121	121	0	0	0	0
1983	19949	160	124	114	0	0	10	0
1984	15821	97	162	154	0	0	7	1
1985	11280	101	112	111	0	0	0	1

NOTES :
(1) Total des jours d'enregistrement = 153 869.
(2) Nombre total de mises à l'eau d'instruments : 2 223.
(3) Types de courantomètre : AAND - Aanderaa, BRCN - Braincon, HW - Hydrostatenwerke, VACM - Vector Averaging Current Meter.

menées en 1957 sur la côte est du Canada, et en 1963 ces instruments servaient pour les relevés annuels de l'Institut. Notre programme était limité aux profondeurs de la plate-forme continentale; la technologie utilisée à l'Institut pour ces instruments mouillés par petits fonds est décrite par Hugget et Dobson (1965) qui signalent que, au cours d'une saison, 15 à 19 appareils étaient mis en place et chacun était relevé environ 8 fois; les auteurs notent que les pertes restaient heureusement faibles. Un réexamen récent des relevés anciens, effectué par D. Dobson à l'Institut, montre que, de 1958 à 1965, le taux annuel moyen de perte était de 14 %, et le taux de récupération des données était de 82 % de tous les jours d'enregistrement exploitables.

Jusqu'en 1963, l'Institut n'a pas essayé de mettre en place des instruments en eaux profondes, malgré le fait que d'autres instituts s'y intéressaient activement. Richardson *et al.* (1963) décrivent un dispositif de mesure du courant in situ, composé d'enregistreurs et de bouées de soutien ancrés, qui pouvait être laissé en place sans surveillance dans les eaux profondes pendant une longue période. Ils ont examiné le cas de 106 de ces stations mises en place par la Woods Hole Oceanographic Institution; les bons enregistrements étaient relativement rares, mais les difficultés paraissaient surmontables.

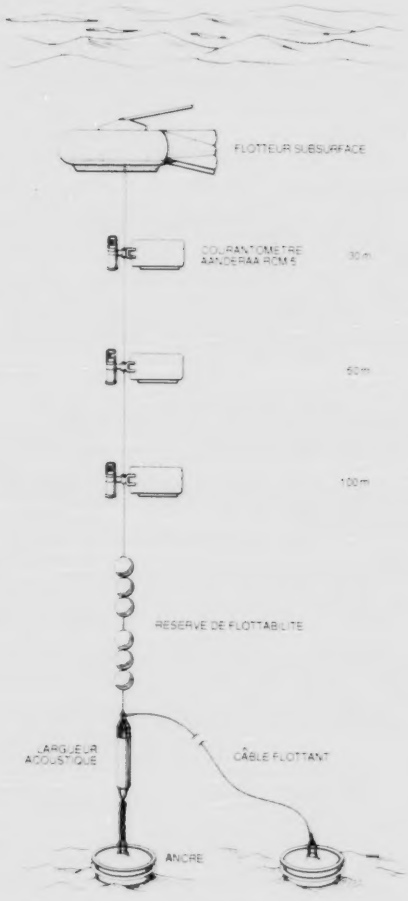
En 1964, l'Institut était prié d'apporter son aide à l'Aviation royale canadienne pour l'acquisition de données sur les courants dans les eaux profondes proches du plateau Scotian. Farquarson (1964) décrit les préparatifs des premiers mouillages d'instruments à grande profondeur, avec notamment une visite à Woods Hole pour étudier les techniques utilisées. L'auteur a constaté que les données utilisables obtenues par Richardson et ses collaborateurs dans leurs travaux antérieurs ne dépassaient pas 2 % du maximum possible, mais en conclut que les méthodes utilisées sur petits fonds par l'Institut devraient être testées en eaux profondes.

Farquarson (1965) décrit la mise en place de 4 batteries d'instruments, en ligne du rebord du plateau Scotian jusqu'à la limite du Gulf Stream. Le travail a été difficile et coûteux en matériaux et en instruments : par exemple, il a fallu utiliser une ligne-mère de 6 km de longueur, constituée de câble synthétique flottant, pour récupérer les instruments (on utilise maintenant des largueurs acoustiques). Ce programme a donné très peu de résultats, car ni les courantomètres ni les techniques d'amarrage n'ont fonctionné de façon satisfaisante, et, pendant plusieurs années, on n'a pas repris les mouillages d'instruments en eaux profondes.

Cependant, en 1969, l'emploi d'instruments électromécaniques qui enregistraient les données sur film photographique était relativement courant sur le plateau continental, et les résultats obtenus étaient bons, lorsqu'on les comparait à des données connues sur les courants de marée (Forrester, 1969). Un groupe de travail de l'Institut a été chargé de concevoir un amarrage en eaux profondes destiné à l'expédition Hudson 70. L'année 1970 a été marquante pour le programme de mesure des courants; en janvier, quatre mouillages profonds ont été mis en place dans le passage Drake, à des profondeurs de 3 500 m, pendant 11 jours, ce qui a permis d'obtenir 10 enregistrements continus (Mann, 1971). Cette opération a été suivie en mai par la mise en place d'un mouillage profond sous le Gulf Stream, avec le flotteur subsurface à une profondeur de 3 500 m; pour la première fois, on a utilisé la navigation satellitaire pour repositionner le navire chargé de récupérer les instruments. Pendant l'opération « marée noire » menée dans la baie Chedabucto, 18 courantomètres ont été mouillés par petits fonds (Neu, 1970), et de bons résultats ont été obtenus malgré le peu de temps disponible pour mobiliser les moyens nécessaires. La même année, deux chercheurs de l'Institut ont participé à l'interétallonnage des courantomètres organisé par le SCOR (UNESCO, 1974) et, à partir de cette expérience, nous avons jugé que les courantomètres Bergen ou Aanderaa seraient les instruments les mieux adaptés à notre programme.

Au cours des quatre années qui ont suivi, l'Institut a conçu les éléments de base d'un mouillage de courantomètre : flotteur subsurface, réserve de flottabilité, ancre et parachute, largueur acoustique et enregistreur ont été choisis, et des instruments de ce type sont encore utilisés aujourd'hui; la figure 1 montre un mouillage typique de courantomètre par petits fonds. Sur les 214 courantomètres Aandereaa achetés depuis 1970, il en reste 114 en service, et nous possédons encore le premier qui ait été acheté (seuls le chapeau et le numéro de série restent les mêmes).

En 1970, nous étions en mesure de mettre en place des mouillages pour une durée allant jusqu'à 30 jours; il fallait une semaine pour traiter l'enregistrement de chaque instrument, et il fallait généralement attendre 12 à 18 mois après le retour d'une expédition pour que les données puissent être transcodées, numérisées et prêtes à l'analyse. Des tests et des essais effectués par



Amarrage typique à l'IOB d'un courantomètre en eau peu profonde.

Keenan (1979) et Hartling (1978) ont aussi révélé des erreurs jusque-là non prévues dans la performance et l'étalonnage des instruments, et nous avons continué à examiner les sources d'erreur et à mettre au point des méthodes d'étalonnage (Petrie, 1977; Smith *et al.*, 1978, 1984; Tang et Hartling, 1979; Keenan, 1981; Boyce, 1982). En 1986, le transcodage des enregistrements se faisait en 15 minutes environ, et les données pouvaient alors être immédiatement soumises au contrôle de performance avant la remise à l'eau du même instrument. En six mois, toutes les données sont prêtes pour l'analyse scientifique, et les courantomètres donnent régulièrement un rendement de 90 %, sauf dans certaines zones où la pêche est active.

Cette technologie, qui est relativement à maturité, a été graduellement mise au point depuis 16 ans par un processus d'examen du rendement et d'étalonnage, d'innovation technique et de développement de logiciels. Les plus gros obstacles qui ont été surmontés sont la conception mécanique d'un mouillage profond fiable (Fowler et Reiniger, 1981; Fowler *et al.*, 1985), et la mise au point de bouées repères que pouvait relever un navire océanographique et qui servaient à éloigner les bateaux de pêche (Foote, 1985). Cependant, tous les instruments et composantes utilisés dans ce programme ont subi un processus lent mais continu d'évolution, à mesure que les erreurs de conception étaient détectées (p. ex. crevasses dues à la corrosion sur les crochets du largueur acoustique) ou que certaines composantes pouvaient être remplacées par des éléments plus modernes et plus fiables (comme les accumulateurs au lithium).

Le tableau 2 résume les statistiques sur la performance des mouillages depuis 1979 (Hartling, 1980-1987). Entre 1970 et 1981, le nombre de mouillages mis en place chaque année a doublé, et la durée de la période opérationnelle d'un mouillage a augmenté plus de six fois par rapport à son niveau de 1970. Dans l'ensemble, le taux de perte d'équipement est d'environ 13 % (c'est à peu près le taux relevé par Dobson, 10 ans plus tôt); cependant, vers la fin des années 1970, les pertes ont nettement augmenté, et un ingénieur a été ajouté

Tableau 2. Statistiques sur les mouillages

Année (financière : d'avril à la fin mars)	78/79	79/80	80/81	81/82	82/83	83/84	84/85	85/86	86/87
Taux global annuel de pertes (%)	—	21	9	16	6	1	6	8	1
Valeur de remplacement des pertes de l'année (milliers de $)	304	390	221	480	155	19	208	198	21.3
Valeur de remplacement du matériel utilisé (milliers de $)	—	1857	1455	3000	2583	2414	3749	2564	2375
Nombre d'instruments enregistreurs récupérés	—	—	—	—	123	141	164	129	126
Nombre de mouillages récupérés après un an ou plus	—	—	—	0	10	12	14	14	14

à l'équipe de mise au point des mouillages. Nous avons maintenant réduit nos pertes à moins de 5 %, entre 1983 et 1986, et en 1984 les trois ingénieurs qui dirigeaient le groupe depuis 1969 ont reçu une prime à l'encouragement du gouvernement du Canada pour récompenser le travail innovateur qu'ils ont accompli dans la conception des mouillages. (Les trois ingénieurs, George Fowler, Robert Keiniger et Albert Hartling, ont souligné l'apport de nombreux collaborateurs, notamment le personnel embarqué, que met en lumière leur récompense.)

Pour recueillir, avec les moyens de 1963, les 11 000 journées d'enregistrement qui ont été obtenues en 1985, il aurait fallu des ressources impossibles à rassembler, même sans tenir compte du fait qu'on ne disposait pas à cette époque-là de la technologie des mouillages profonds. Il aurait fallu plus de six fois la quantité de temps-navire utilisée aujourd'hui — un minimum de 50 jours-navire de plus en station. Le traitement des données aurait pris des années. Les progrès réalisés depuis 25 ans à l'IOB et dans d'autres instituts océanographiques en matière de technologie des mouillages sont évidents; la bataille discrète mais coûteuse de l'amélioration des mesures sur de longues périodes se poursuit, car le personnel de l'Institut, en collaboration avec des ingénieurs appartenant à des entreprises privées de la région, continue à adapter la technologie nouvelle aux applications océanographiques. Parmi les nouvelles orientations, notons la conception de systèmes de mesure devant servir dans les eaux infestées de glace de la côte est pendant l'hiver, et dans les zones où la pêche est intensive, pour lesquelles nous ne possédons pas encore de bonnes données. Lors du cinquantenaire de l'Institut, la revue aura certainement enregistré des réussites comparables, mais la technologie de 1987 paraîtra alors bien limitée.

Références

ANDERSON C. 1986. Canadian Atlantic Storms Program (CASP) Oceanographic Data Inventory. Rapport inédit, Institut océanographique de Bedford : 20 p.

BOHNECKE, G. 1955. The principles of measuring currents. Union of Geodesy and Geophysics, Association of Physical Oceanography, *Scientific Publication No. 14* : 28 p.

BOURGAULT, P.L. 1973. L'innovation et la structure de l'industrie canadienne. Conseil des sciences du Canada, *Étude spéciale n° 23* : 135 p.

BOYCE, R. 1982. Calibrations of conductivity and temperature for the Aanderaa RCM-5 current meter. *Rapport technique canadien sur l'hydrographie et les sciences océaniques n° 1* .

FARQUHARSON, W.I. et LANGFORD, C.J. 1961. Current measurements in Canadian waters. Rapport du Service hydrographique du Canada : 9 p.

FARQUHARSON, W.I. 1964. Current measurements: discussions at Woods Hole Oceanographic Institute and Geodyne Corporation, February 10-14. Institut océanographique de Bedford, Note 64-4 : 11 p.

FARQUHARSON, W.I. 1965. Current data obtained from ocean moorings, 1964. Institut océanographique de Bedford, Note 65-1 : 6 p.

FOOTE, T.R. 1985. Marker guard buoys, an evaluation. Rapport inédit, Institut océanographique de Bedford : 9 p.

FORRESTER, W.D. 1969. Tidal transport and streams in the St. Lawrence River and estuary. Institut océanographique de Bedford, AOL Report 69-2 : 14 p.

FOWLER, G.A. et REINIGER, R.R. 1978. Mooring component performance — Kevlar mooring lines. Oceans '78 Conference Proceedings; Institute of Electrical and Electronic Engineers: 16 p.

FOWLER, G.A. et REINIGER, R.R. 1981. Some field and laboratory results obtained with Kevlar mooring lines. Oceans '81 Conference Proceedings; Institute of Electrical and Electronic Engineers: 6 p.

FOWLER, G.A., HAMILTON, J.M. et WHITEWAY, W.J. 1985. A novel traction winch for oceanographic moorings. Oceans '85 Conference Proceedings, Institute of Electrical and Electronic Engineers: 3 p.

HARTLING, A.J. et HENDRY, R.M. 1978. Direction errors induced by case magnetization for the RCM-5 current meter. *Exposure 6 (No. 3)*: 4 p.

HARTLING, A.J. 1980 à 1986. Annual review of causes of losses in the BIO mooring program. Rapports inédits, Institut océanographique de Bedford : 5 p. chacun.

HARTLING, A.J. 1986. Review of mooring technology and instrument maintenance on physical oceanographic equipment. Rapport inédit, UNDP/ROK/82/010, Institut océanographique de Bedford : 85 p.

HUGGET, S. et DOBSON, D.D. 1965. Surveys on the continental shelf: techniques for mooring self recording current meters. Rapport du Service hydrographique du Canada : 14 p.

KEENAN, P.B. 1979. Sources of compass error within the Aanderaa recording current meter, (révision 1979). Institut océanographique de Bedford, Report Series BI-R-79-6: 70 p.

KEENAN, P.B. 1979. Possible compass errors caused by magnetic tape in Aanderaa recording current meters. Institut océanographique de Bedford, Data Report, BI-D-79-7: 29 p.

KEENAN, P.B. 1981. Aanderaa recording current meter compass errors caused by mooring system components. Institut océanographique de Bedford, Report Series, BI-R-81-6 : 27 p.

MANN, C.R. 1971. The Hudson 70 Expedition. Institut océanographique de Bedford, Rapport bisannuel, 1969/70 : 3-9.

NEU, H.J.A. 1970. The hydrodynamics of Chedabucto Bay and its influence on the "Arrow" disaster. Institut océanographique de Bedford, rapport du LOA, 70-6 : 63 p.

PETRIE, B. 1977. An intercomparison of data from Endeco 174 and Braincon 381 current meters. Institut océanographique de Bedford, Report Series, BI-7-10: 17 p.

SMITH, P.C., FOOTE, T.R., et BOYCE, R. 1978. In-situ calibrations of temperature and salinity for the Aanderaa RCM-5 current meter. Institut océanographique de Bedford, Report Series, BI-R-78-7: 51 p.

SMITH, P.C., LIVELY, R.R., et BROWN, K.C. 1984. An intercomparaison of near surface measurements with Aanderaa and AMF VACM current meters in strong tidal currents. Rapport technique canadien sur l'hydrographie et les sciences océaniques n° 48 .

TANG, C.L. et HARTLING, A.J. 1979. Calibration of the rotors of the Aanderaa RCM-5 and AMF VACM. Institut océanographique de Bedford, Report Series, BI-R-79-4 : 28 p.

RICHARDSON, W.S., STIMSON, P.B., et WILKINS, C.H. 1963. Current measurements from moored buoys. *Deep-Sea Research 10*: 19 p.

UNESCO. 1974. An intercomparison of some current meters II. UNESCO Technical Papers in Marine Science No. 17, SCOR Working Group 21, UNESCO: 115 p.

Les percées de la technologie hydrographique

Adam J. Kerr

Kelly Bentham

Adam Kerr

Les levés du fond marin

L'ÉCHOSONDEUR a été employé dès les années 1930, mais les hydrographes de l'Institut employaient encore récemment le plomb à main pour certains levés détaillés. C'est en 1986 qu'a été finalement adoptée une méthode permettant d'accélérer et d'améliorer de façon notable les sondages détaillés des approches des jetées. Il s'agit du système de balayage acoustique, et de son installation à bord du catamaran de 35 m F.C.G. *SMITH*.

Alors que le positionnement électronique et l'échosondage étaient régulièrement utilisés dans les levés côtiers et hauturiers, ce n'est que lentement que la technologie nouvelle a pu s'imposer dans le sondage des ports à très grande échelle. Au début, on mesurait péniblement la longueur de la jetée, puis une équipe embarquait dans un doris avec un plomb à main; puis, fixant le cap sur deux perches en ligne ou à l'aide d'un sextant tenu à l'horizontale, elle suivait des alignements. La distance par rapport à la jetée était mesurée avec une ligne à extension, corde ou câble métallique à repères, dévidée à mesure que le doris s'éloignait du quai; le plomb était descendu chaque fois qu'un repère passait le bord du quai. Cette méthode était très lente et, par mauvais temps, sans doute imprécise.

Un pas a été fait lorsque la méthode dite de la stadia horizontale a remplacé celle de la ligne à extension. Une mire portant des couleurs spéciales était abaissée par-dessus le bord du quai; à l'aide d'un sextant, on calculait la distance (du point à sonder) par rapport au quai, en mesurant l'angle soustendu par les marques de la mire. Parallèlement à ce changement, on remplaçait le plomb à main par l'échosondeur et le doris par une petite barque à moteur hors-bord. Toutes ces méthodes ne permettaient toutefois pas d'assurer une couverture totale du fond dans ces zones d'importance critique.

Le sondage acoustique par balayage a été introduit au Canada afin de se conformer au code TERMPOL, élaboré par les ministères des Transports et de l'Environnement pour assurer le mouillage des pétroliers, particulièrement dans l'Arctique. Il est en effet nécessaire de s'assurer par sondage que les approches de ces mouillages ne présentent pas d'obstacle.

La technologie du balayage acoustique, bien que nouvelle au Canada, était utilisée depuis un certain temps en Allemagne, où la société Krupp Atlas avait mis au point des dispositifs utilisés dans les eaux fluviales, Elbe, Weser par exemple, et aussi en Finlande dans des lacs. Quant aux ingénieurs du Service

hydrographique du Canada, ils avaient d'abord conçu un système acoustique portatif destiné à l'Arctique. Ils en démontraient les possibilités en 1984 en utilisant le matériel électronique danois Navitronics et un mât de charge mécanique spécialement construit.

On a alors envisagé d'acquérir un petit bateau et de l'équiper de façon plus permanente afin de déployer le sondeur. La firme d'architectes navals Evans, Yeatman et Endal, de Dartmouth, a proposé un catamaran comportant les caractéristiques nécessaires. C'est ainsi qu'a été conçu et construit le F.C.G. *SMITH*, qui est entré en service le 25 avril 1986. Équipé d'une batterie de 29 transducteurs qui assurent la couverture d'une bande de 38 m, le système de balayage peut faire plus de 2 millions de mesures de profondeur à l'heure. L'ordinateur et le traceur, très perfectionnés au bord, permettent de traiter et de vérifier les données du sondage avant que le bateau ne quitte la zone.

Au cours d'un voyage en Scandinavie vers le milieu des années 1960, les hydrographes canadiens réalisaient que la méthode du sondage parallèle offrait de grandes possibilités d'amélioration de productivité. Normalement, un levé hydrographique s'effectue à partir d'un navire qui suit des lignes parallèles de sondage dans les eaux profondes tandis que des vedettes, déployées à partir de ce navire, sondent de façon indépendante les eaux peu profondes. Le bureau hydrographique de Suède a lancé l'idée d'un navire-mère accompagné de plusieurs petits bateaux placés en formation de chaque côté. Ce système permettait de recueillir les données à la façon d'un râteau; de petits équipages d'une ou deux personnes pouvaient embarquer dans les canots, et les systèmes de positionnement en étaient simplifiés.

À l'Institut, on a essayé d'employer cette méthode sur les Bancs de Terre-Neuve à l'aide du *NSC BAFFIN* accompagné de vedettes de bois de 9,45 m. Il devient bientôt évident que ni les hommes ni les machines n'étaient en mesure d'affronter l'état de la mer caractéristique de la côte atlantique du Canada. La Baltique est bien différente du Grand Banc! C'est le groupe de métrologie du LOA (MPO, à l'Institut) qui a proposé une solution : les véhicules télécommandés. Ainsi, en 1969, ce groupe a acquis une petite coque de 4,25 m en fibre de verre et l'a équipée d'un moteur, d'un transducteur remorqué et d'un système de commande radio.

Les essais réalisés dans le bassin de Bedford ont été fructueux et inattendus (dans un cas, le véhicule a heurté un destroyer; une autre fois il s'est retrouvé 5 m au-dessus de la ligne de rivage, ayant obéi a des signaux parasites reçus par la commande radio!). En mer, le véhicule a manoeuvré et recueilli des données selon le plan prévu, à part le fait que, si la mer était houleuse, il était fréquemment soulevé hors de l'eau, perdant à la fois puissance et direction.

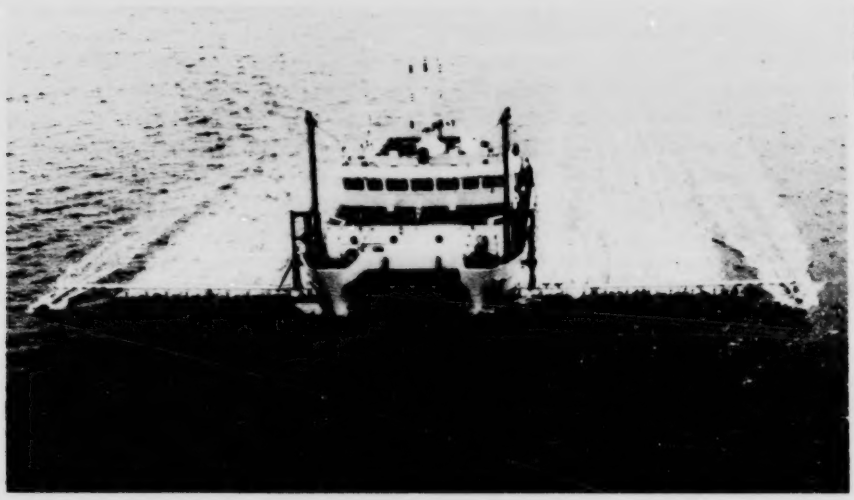
Après quoi, pendant quelques années, l'enthousiasme fut quelque peu en baisse. Mais, en 1980, des contacts avec International Submarine Engineering Research Ltd., société de Colombie-Britannique, ont permis d'envisager l'emploi d'un appareil sous-marin télécommandé. C'est ainsi qu'est né le DOLPHIN, véhicule de 7 m, en forme de torpille, qui pouvait être propulsé dans l'eau à une vitesse de 15 noeuds par un moteur diesel.

L'amélioration des ordinateurs et des systèmes radio a permis de mettre au point un véhicule fiable et fonctionnel pour le sondage parallèle. Les essais réalisés ont montré que le véhicule lui-même, et les systèmes de positionnement et de sondage qui lui sont associés, donnent des résultats très satisfaisants. Un problème particulier se pose toutefois : celui de la mise au point d'un dispositif latéral de mise à l'eau et de récupation du DOLPHIN par mer houleuse (force 6 ou 7). Un dispositif a été mis au point, et pourrait être amélioré dans l'avenir.

Traitement électronique et présentation des données

C'est dans les années 1960 qu'on a commencé à utiliser le traitement électronique des données à bord des navires de levé et de recherche. Dès 1967, on utilisait à bord du *NSC HUDSON* les ordinateurs PDP-8 de Digital Equipment, soit six ans seulement avant que le *NSC BAFFIN* ait été équipé d'une grande table traçante avec commandes câblées. Cette table traçante avait été conçue et construite par la société montréalaise Canadian Aviation Electronics (CAE), elle constituait une première mondiale pour un bureau hydrographique national. Malheureusement, les concepteurs n'avaient pas prévu les difficultés que pose le travail à bord d'un bateau où le mouvement et la vibration sont constants. Le dispositif n'a donc jamais fonctionné de façon satisfaisante à bord d'un navire, et a par la suite été ramené à terre où il a été utilisé avec succès pendant plusieurs années.

La possibilité de stocker beaucoup plus rapidement les données grâce à



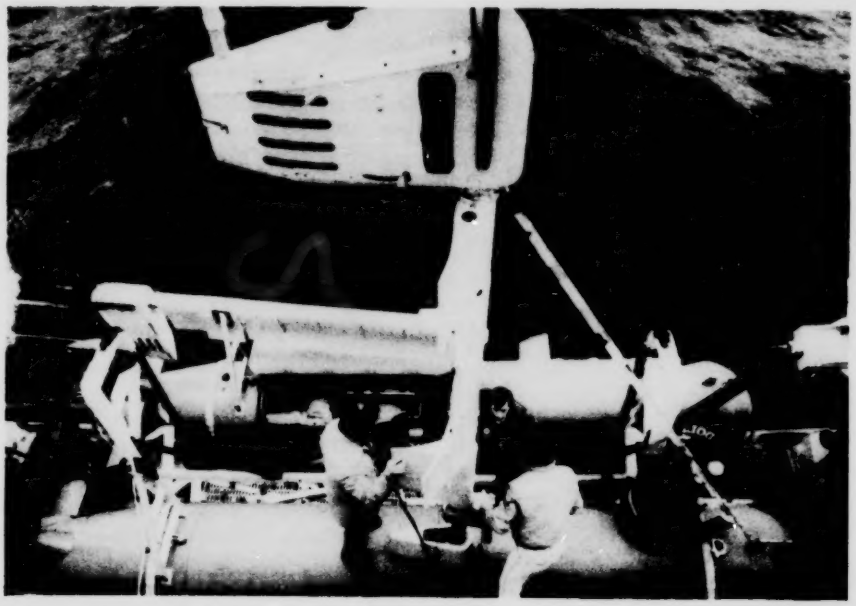
Kelly Bentham

Le F.C.G. Smith, *navire hydrographique de « balayage ».*

des véhicules de levé plus rapides, et d'opérer par tous les temps grâce aux systèmes électroniques de positionnement, a encouragé les hydrographes à persévérer dans l'usage de l'ordinateur et d'autres systèmes électroniques sur le terrain. En 1968, le système automatisé d'acquisition et de traitement des données hydrographiques HAAPS, unité câblée qui enregistrait les données de sondage sur une bande de papier perforé, a été conçu et fabriqué à l'Institut. Sa création a été le point de départ d'une longue série d'améliorations dans les systèmes d'enregistrement utilisés à bord des navires et des vedettes de l'Institut. Tous les progrès n'ont pas été réalisés à l'IOB; les diverses régions (Centre, Pacifique, etc.) du Service hydrographique du Canada ont aussi joué un rôle important. Dans la plupart des cas, les prototypes mis au point par les membres du gouvernement canadien ont été repris par le secteur privé et mis en fabrication. À l'heure actuelle, l'emploi de matériel automatisé par les équipes de levé s'est généralisé.

C'est surtout dans la production des cartes qu'apparaît l'impact de l'informatique sur le travail hydrographique. En 1962, quand l'Institut a été créé, seules s'y trouvaient rattachées les opérations liées aux levés hydrographiques. La compilation et le dessin des cartes restaient du ressort de l'administration centrale. En 1979, il a été décidé que la séparation de ces deux fonctions nuisait à l'efficacité, et la plus grande partie de la production des cartes a quitté Ottawa pour s'établir dans les régions.

Bien que les ordinateurs aient été employés dès 1965 pour l'établissement des cartes, c'est depuis peu que toutes les nouvelles cartes sont régulièrement numérisées et tracées automatiquement. Même aujourd'hui, il reste des lacunes dans le passage des données numériques du terrain à la carte, et elles ne seront éliminées que lorsqu'une base de données numériques complète aura été mise sur pied. À l'heure actuelle, ce travail de développement est considéré comme très prioritaire au Service hydrographique. Comme les hydrographes dans le travail sur le terrain, les cartographes canadiens sont à l'avant-garde de la technologie dans la production des cartes marines.



Kelly Benham

À bord du nsc Baffin, *vérifications préalables avant la mise à l'eau de deux nouveaux Dolphins turbo.*

Le GOMADS, système interactif de traitement des données graphiques, a été mis au point au Service hydrographique par des ingénieurs et des programmeurs. Ce système interactif permet aux cartographes de numériser et d'éditer les données en vue de leur dessin sur des unités précises de traçage automatique. Le GOMADS a été adopté par la société Universal Systems Ltd. qui a produit les systèmes cartographiques les plus perfectionnés connus sous le nom de CARIS I et II (systèmes d'information sur les ressources assistés par ordinateur). Ces systèmes, qui sont employés dans toutes les régions du Service hydrographique du Canada, ont aussi été vendus à l'étranger et servent dans l'ensemble du Canada pour toutes les formes de cartographie et, plus récemment, comme systèmes d'information géographique. Un CARIS sera proposé comme base du banc d'essai des cartes électroniques. Les cartographes, qui en 1962 venaient d'abandonner les outils de la gravure sur cuivre pour les pointes à tracer en plastique, se retrouvent maintenant dans un monde nouveau où ils doivent se familiariser avec des numériseurs et des terminaux à écran de visualisation.

En 1963, les hydrographes du Service hydrographique du Canada expérimentaient l'intégration des affichages radar aux cartes sur papier. La possibilité d'offrir au navigateur un affichage combiné simplifierait les décisions sur la passerelle. Les images photographiques du radar ont été observées à bord de deux des navires de l'Institut. L'intégration de ces photographies aux cartes elles-mêmes n'a jamais été entreprise au Canada, mais elle a été réalisée ailleurs. Le grand nombre de variables exprimant la réflexion de la cible en hauteur selon son aspect, sans parler du radar lui-même, rendaient la tâche difficile.

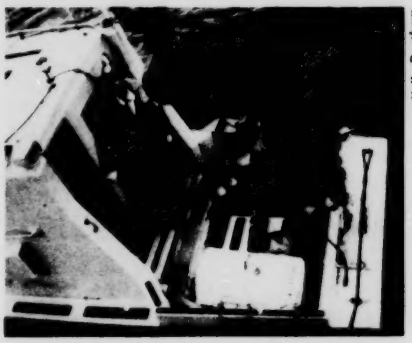
En 1984 a été conçue l'idée d'une carte électronique dont l'objectif central était l'intégration des images radar et cartographiques. L'information peut maintenant être présentée sur un écran au lieu de papier, et toutes les données peuvent être manipulées sous forme numérique. À l'Institut, le groupe de navigation du SHC a pris une part active dans la mise au point de la carte électronique. Il a été décidé d'examiner certains aspects avant de pousser la fabrication des unités de cartographie électronique. Les questions particulières à étudier sont les suivantes : la base de données, la mise à jour des cartes en mer, le format de l'affichage et sa dyna-

mique de présentation des profondeurs selon la hauteur de la marée, et non réduites de façon permanente au zéro des cartes marines, comme c'est le cas sur papier.

À l'heure actuelle, la plus grande partie du développement technique à l'Institut est effectuée par le biais de contrats commerciaux. Dans le cas de la carte électronique, c'est la société Universal Systems Ltd., de Frédéricton, qui a été chargée de mettre au point le banc d'essai sur lequel seront modélisés les divers concepts. Une des exigences particulières de la carte électronique est l'intégration de l'imagerie radar du navire. Un élément du processus consiste à mettre sous forme numérique les données analogiques fournies par le radar, et à convertir les coordonnées polaires en coordonnées rectilignes. Ce travail a été réalisé à contrat par un groupe de l'Université McGill. Le navire équipé d'une carte électronique doit faire le point de façon très précise pour que l'imagerie radar et l'imagerie cartographique soient mises en corrélation. Le système de positionnement global par satellite (GPS) a été jugé le plus efficace, du fait de sa grande précision et de son indépendance à l'égard des émetteurs terrestres. L'évolution des travaux montre la faisabilité du banc d'essai des cartes électroniques, et le Canada est actuellement à la pointe de la technologie mondiale.

Vedettes hydrographiques

Un mot sur les plates-formes hydrographiques. L'association entre les hydrographes et les embarcations qui les portent est très étroite, et n'apparaît nulle part plus clairement que dans la conception des navires et vedettes. Pendant de nombreuses années, les hydrographes jugeaient que la navigabilité et la tenue à la mer étaient les seules exigences dans la construction de leurs vedettes. Si ces paramètres demeurent de première importance, il est maintenant reconnu que le rythme de collecte des données est directement lié à la vitesse opérationnelle dans la mesure des profondeurs. Ces dernières années, on a délibérément travaillé à la conception de vedettes qui offrent en même temps des qualités de navigabilité, de tenue à la mer et de vitesse. Cela n'a pas été facile.



Kelly Benham

On se prépare à hisser une vedette de levé à bord du nsc Baffin.

L'évolution de la technologie du positionnement a aussi imposé des changements dans la conception des vedettes. Pour faire le point au sextant, l'observateur devait se tenir debout pour repérer les amers puis se remettre à l'abri au fond du bateau pour consigner ses mesures. Par gros temps, la vedette était inondée, ce qui est peu propice à l'emploi de matériel électronique moderne. Pourtant, une certaine résistance au changement se manifestait, et on notait une certaine inertie dans le passage à des vedettes entièrement à l'abri de l'eau. Quand l'Institut fut crée, les vedettes étaient des embarcations rudimentaires en bois, sur le modèle des bateaux de pêche de Cornouailles; elles avaient une vitesse maximum de 8 noeuds. À l'heure actuelle, les vedettes les plus récentes ont une coque de fibre de verre, de kevlar ou d'aluminium et atteignent des vitesses de 15 à 20 noeuds. Le patron de la vedette et les hydrographes travaillent pratiquement en bras de chemise. Bien que l'augmentation de la vitesse rende inévitablement la progression plus difficile par mer agitée, les nouveaux bateaux gardent leurs qualités de navigabilité et de tenue à la mer.

Conclusion

Comme bien d'autres secteurs dans notre monde, la technologie hydrographique a connu une croissance exponentielle plutôt que linéaire. Au fil de l'histoire, les hydrographes se réfèrent à l'invention du chronomètre au milieu du 18ème siècle, à l'emploi de l'échosondeur dans les années 1920, à l'introduction de systèmes électroniques de positionnement, comme le Loran et le Decca, dans les années cinquante. Mais c'est depuis l'entrée en scène des ordinateurs au début des années soixante, que la technologie hydrographique a vraiment fait un bond en avant. L'informatique a des applications partout, des systèmes de sonar à la conception des bateaux. Sans elle, il serait impossible de traiter la masse des données que recueillent les systèmes modernes de balayage acoustique ou de modéliser l'infinité de paramètres qui régissent la conception d'une vedette hydrographique.

La croissance technologique s'accélère. À l'heure actuelle, les hydrographes commencent à utiliser le LARSEN, laser à balayage qui mesurera les profondeurs à partir d'un aéronef volant à faible altitude. Parmi les grandes priorités, on place le développement d'un système qui permettra de traiter l'énorme quantité de données qu'on peut maintenant recueillir et qui transmettra l'information grâce à des dispositifs, comme la carte électronique, capables de satisfaire les besoins de tous ceux dont l'activité a un rapport avec l'océan : pêcheurs, sociétés pétrolières, transporteurs ou bateaux de guerre.

Références

BURKE, R. 1983. The Canadian Hydrographic Service (Atlantic) Sweep Program. Lighthouse: 25-30.

BURKE, R.G. et FORBES, S.R. 1984. Vertical acoustic sweep systems — A "new broom in the closet" for the Canadian Hydrographic Service. *In* Proceedings of Hydro 84: Association des hydrographes canadiens: 50-58.

CASEY, M.J. et VOSBURGH, J. 1986. Airborne lidar hydrographic — The Larsen in operation. *In* Proceedings of the International Congress of Surveys Commission XVIII: 167-177.

EATON, R.M., 1983. La carte électronique. *In* Compte rendu de la Conférence du Centenaire du Service hydrographique du Canada « De la ligne de sonde au laser », Association des hydrographes canadiens: 188-195.

EVANGELATOS, T.V. 1985. Upgrade of the cartographic workstations. Lighthouse: 5-10.

GLAVIN, S.J. et MONAHAN, D. 1986. Cartographic desing consideration for the electronic chart. Lighthouse: 10-12.

KERR, A.J. et DINN, D.F. 1985. The use of robots in hydrography. International Hydrographic Review LXII(1): 41-52.

LAMPLUGH, M.J.N. 1986. DOLPHIN — Her next big step. In Proceedings of Colloquium IV: Land, Sea and Space — Today's Survey Challenge. Canadian Petroleum Association and the Canadian Hydrographic Service: 105-118.

MALONE, A.K., CASEY, M.J. et MONAHAN, D. 1983. Scanning lidar bathymeter. Lighthouse: 2-6.

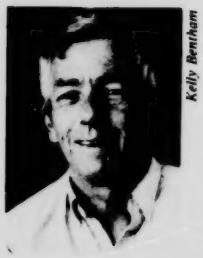
SMITH, S.A. 1985. Digital charting — Where do we go from here? In proceedings of 1st Canadian Hydrographic Biennial Conference, April: 96-101.

THOMAS, C.C. 1985. Continuing program of the Dolphin semi-submersible. In Fourth International Symposium on Unmanned Untethered Submersible Technology, June, 223-229.

VARMA, H.P. 1984. Interactive graphic editor for hydrography. Lighthouse: 20-26.

Vingt-cinq ans de recherche sur les dorsales

Michael J. Keen



Mike Keen

LA théorie d'une croûte océanique se formant aux dorsales et de sa destruction aux fosses de subduction a été proposée par Hess en 1962, année de fondation de l'Institut océanographique de Bedford (Hess 1962; v. Bullard, 1975). L'année suivante, on considérait que les anomalies magnétiques linéaires observées en travers des bassins océaniques étaient causées par l'aimantation rémanente du fond marin nouvellement créé qui se solidifiait tandis que le champ magnétique terrestre changeait de polarité (Vine et Matthews, 1963). Les déplacements de ces anomalies aux zones de fracture comme l'escarpement de Mendocino, dans le Pacifique, ont été expliquées, selon Tuzo Wilson en 1965 (Wilson, 1965a), par la présence de failles transformantes; cet auteur avait prévu un déplacement le long de ces failles, dont le sens était contraire à ce qu'on pensait jusqu'alors. Ceci a été confirmé de façon assez rigoureuse par Sykes (1967) dans une étude des mécanismes sismiques au foyer. La tectonique des plaques, hypothèse selon laquelle les parties extérieures de la croûte terrestre se comportent comme des plaques rigides tournant sur une sphère, a été formulée par McKenzie et Parker (1967) et Morgan (1968). Elle constituait, dans une certaine mesure, une extension au travail de Bullard, Everett et Smith, qui avaient reconstitué sur ordinateur la dérive des continents (Bullard *et al.*, 1965).

L'Institut a été fondé au moment où, de toute évidence, les sciences de la terre étaient en révolution. Les géologues et les géophysiciens de l'Institut et d'organismes comme l'Université Dalhousie ont testé et perfectionné le nouveau modèle, en ont exploré les dimensions et l'ont appliqué à leur étude de la marge continentale de l'est du Canada et de l'Arctique, ainsi qu'aux bassins océaniques adjacents. Ces recherches ont eu un impact surprenant sur le développement de la géologie et de la géophysique marines au Canada, ce qui a ensuite influencé les travaux de géologie terrestre.

Loncarevic a mené un certain nombre d'expéditions sur la dorsale médio-atlantique afin de tester le nouveau modèle de la tectonique des plaques et de l'expansion des fonds marins. Il a suscité l'intérêt d'un grand nombre de personnes pour les roches des bassins océaniques (voir p. ex. Aumento *et al.*, 1975; Keen, 1983). Cela a permis de réaliser des travaux fructueux dans le cadre du Projet de forage en mer profonde (DSDP), notamment pendant la campagne 37 sur la chaîne océanique médio-atlantique, et a donné lieu à des programmes de forage au sol, aux Açores, en Islande et à Chypre, afin d'étudier un relief océanique similaire. Loncarevic et ses collègues ont mis au point de nouvelles méthodes de levé et d'échantillonnage. Ils ont utilisé des transpondeurs radar fixés sur des bouées ancrées de façon à transpondeurs radars fixés sur des bouées ancrées de façon à obtenir un positionnement précis avant même l'emploi de la navigation satellitaire et du système de positionnement global

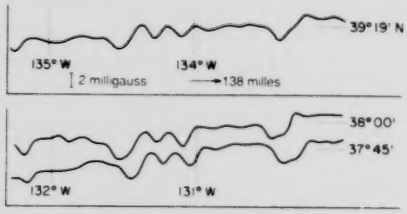


Fig. 1 L'un des premiers problèmes de géophysique marine résolus par les théories d'expansion des fonds marins et de failles transformantes. La figure montre des profils du champ magnétique terrestre des deux côtés de la faille Pioneer Ridge, dans l'océan Pacifique, la route du navire étant parallèle à la ligne de faille. Après un déplacement de 138 milles marins, la concordance entre les profils est nette. La légende originale indiquait : « . . . montrant un glissement latéral de 138 milles marins ». Nous comprenons maintenant que ce glissement est dû au rejet initial de la dorsale océanique sur une faille transformante. (Voir fig. 2. La figure originale est tirée de Vacquier 1959, fig. 1).

(GPS); les questions de navigation sont traitées ici même dans l'article de Grant et McKeown. Les chercheurs ont mis au point le carottier à roche dure de l'Institut, qui a ensuite été utilisé pour cartographier le plateau continental de l'est du Canada. Cette foreuse a permis en 1986 d'obtenir des carottes extraordinaires de sulfures métalliques provenant de buttes minéralisées présentes sur la crête active du Juan de Fuca, au large de la Colombie-Britannique (Ryall, Sous presse). Irving a montré comment l'eau de mer réagit aux propriétés chimiques et à l'aimantation rémanente des roches volcaniques nouvellement formées aux dorsales océaniques. De son côté, Aumento a constaté que les interactions eau de mer-roches étaient importantes, chimiquement, sur celles-ci et celle-là

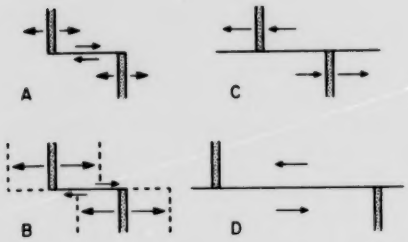


Fig. 2 La faille transformante selon Tuzo Wilson expliquait le déplacement observé à la figure 1. Une croûte nouvelle se forme aux dorsales océaniques, elle se trouve aimantée successivement dans des directions opposées selon les oscillations du champ magnétique terrestre, d'où les anomalies. Les déplacements des dorsales océaniques sont révélés par les anomalies. La légende originale indiquait : « a) Faille transformante dextre de crête à crête, reliant deux dorsales en expansion. b) Faille présentée en I(a), après une période de mouvement du fond. Noter que le mouvement n'a pas modifié le rejet apparent. c) Faille transversale senestre affectant une dorsale, avec rejet dans le même sens, mais mouvement du fond dans le sens contraire à celui de la faille transformante de 1a. d) Faille présentée à 1c après une période de mouvement du fond. Noter que le rejet a augmenté. Les flèches simples indiquent les composantes du mouvement de cisaillement. Les flèches à tête pleine indiquent la formation de croûte océanique à partir de l'axe de la dorsale. » a) et b) expliquent la situation de la figure 1. (D'après Wilson 1965b, fig. 1).

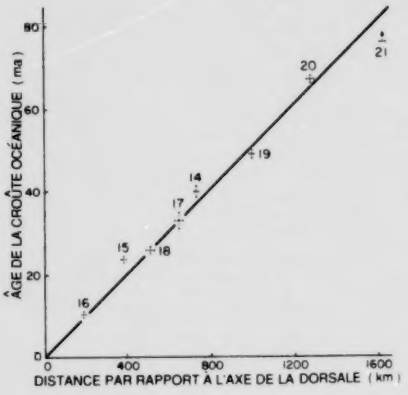


Fig. 3 Confirmation frappante de la théorie de l'expansion des fonds marins. La campagne 3 du Programme de forage en mer profonde a permis de forer dans l'Atlantique Sud, à travers les sédiments, jusqu'à la croûte océanique sous-jacente. Si les sédiments se sont déposés sur la croûte immédiatement après sa formation, l'âge des sédiments, déterminé d'après leurs fossiles, doit donner celui de la croûte. La figure montre que la croûte est de plus en plus ancienne à mesure que l'on s'éloigne de l'axe de la dorsale médio-atlantique. La légende originale indiquait : « Graphique représentant l'âge des sédiments situés immédiatement au-dessus de la roche-mère en fonction de la distance la plus courte de l'axe de la dorsale. » (D'après Maxwell et al. *1970, p. 463, fig. 8).*

(v. Aumento *et al.*, 1975). Les chimistes océanographes avaient sous-estimé l'influence de la croûte océanique dans leurs travaux; les géologues ont réalisé que la chimie marine est règie par le recyclage complet des eaux marines mondiales à travers la croûte océanique fracturée, recyclage qui s'effectue tous les dix millions d'années environ. Hall, à l'Université Dalhousie, a poursuivi les travaux qu'avait menés Loncarevic sur la dorsale médio-atlantique en forant la vieille croûte océanique sur l'île de Chypre; ce programme a permis de mettre au clair certains des processus de formation de sulfures métalliques dans les roches volcaniques, ce qui avait une grande importance pour les spécialistes canadiens de géologie économique (Hall *et al.*, Sous presse). Des recherches qui, au départ, étaient centrées sur une zone assez petite de la dorsale médio-océanique, ont donc eu un impact beaucoup plus grand.

C'est au cours de l'expédition HUDSON 70 qu'on a pu étudier l'application des nouvelles idées de tectonique de plaques dans une gamme de situations géologiques. Des travaux ont été particulièrement fructueux dans la baie de Baffin. L'HUDSON a fait le tour complet de l'Amérique du Nord et du Sud, ce qui a permis d'effectuer des observations importantes sur la côte ouest, en mer de Beaufort et dans la baie de Baffin. Au large de la Colombie-Britannique, on a montré que le manteau océanique est sismiquement anisotrope. La valeur maximum du vecteur vitesse des ondes de compression se trouve dans la direction de l'expansion du fond marin (Keen et Barrett, 1971). Le passage dans la baie de Baffin a été particulièrement significatif, car en 1971 la baie n'avait pratiquement pas été explorée géologiquement. L'HUDSON a été le premier navire à l'étudier avec une panoplie plus ou moins complète d'appareils de géophysique. Les travaux de réflection sismique effectués au début de 1970 à bord du DAWSON avaient montré qu'au large du détroit de Lancaster, les sédiments étaient très épais, conformément à l'hypothèse de Fortier et Morley (1956) selon laquelle les chenaux de l'archipel arctique représentaient des lits de rivières approfondies par des glaciers (Pelletier, 1966). Les travaux menés à bord du DAWSON ont aussi révélé que les basaltes proches de l'île Disko, à l'ouest d Groenland, S'étendaient loin vers le large (Keen *et al.*, 1972). Les travaux réalisés sur l'HUDSON ont montré que, dans la baie de Baffin, la croûte sous-jacente possède une structure sismique océanique (Keen *et al.*, 1971). Ces observations ont permis de retracer la tectonique de la baie depuis 60 millions d'années, le Groenland et le Canada constituant des plaques adjacentes. Ces reconstitutions dans leur forme la plus simple mettaient en évidence un déplacement le long du détroite de Nares, une des principales failles indiquées par Wegener dans sa «dérive des continents», mais les traces géologiques relevées à terre se sont pas conclusives. Le déplacement reste controversé (Dawes et Kerr, 1982).

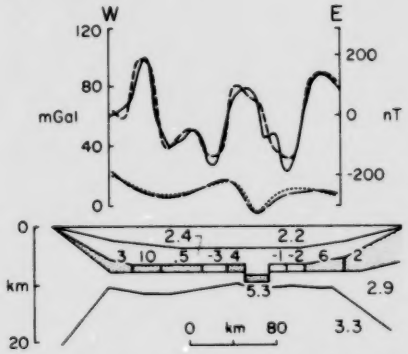


Fig. 4 Modèle de la croûte dans la baie de Baffin d'après des données gravimétriques et magnétiques. L'anomalie magnétique observée est représentée par la ligne pleine; le trait discontinu représente l'anomalie calculée. L'anomalie gravimétrique observée est la ligne pointillée; l'anomalie calculée est une ligne à traits inégaux. Les chiffres élevés représentent les densités en g/cm³. La densité de la couche qui constitue la source magnétique est de 2,8 g/cm³. Les valeurs plus faibles sont les intensités magnétiques en A/m. (D'après Jackson et al. *1979, fig. 9).*

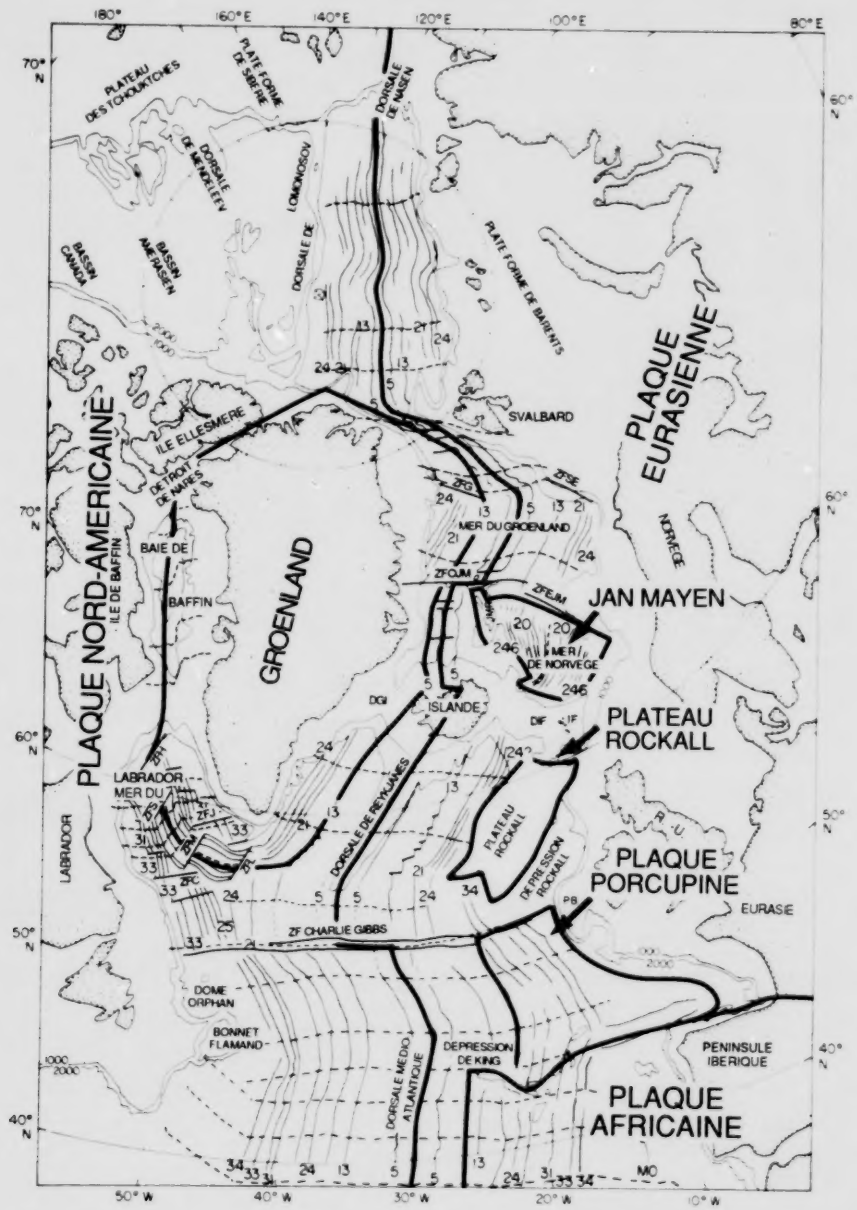


Fig. 5 Courbes magnétiques et zones de fracture dans l'Atlantique Nord, la mer du Labrador, la mer de Norvège et du Groenland et le bassin Eurasien. On observe aussi les isobathes de 1000 m et de 2000 m, et les lignes de fluage (lignes discontinues). (Projection de Mercator transverse). Les lignes grasses délimitent les plaques qui étaient actives aux divers stades de l'évolution de l'ensemble de la région. (Carte modifiée par S. Srivastava d'après Srivastava et Tapscott 1986, fig. 1).

Les modèles tectoniques d'évolution de la baie de Baffin souffrent du manque de connaissance des anomalies magnétiques présentes dans la partie centrale de la baie. Cette lacune est due aux carences de la navigation pendant les premiers levés, aux fortes variations diurnes du magnétisme et à l'obliquité probable de l'expansion, qui doit perturber les signaux magnétiques. Tous les modèles sont donc très dépendants de ceux des régions océaniques adjacentes : la mer du Labrador, la mer de Norvège, l'Atlantique Nord et l'océan Arctique.

L'histoire de l'expansion dans ces régions, sauf dans certaines grandes parties de l'océan Arctique, est maintenant relativement bien définie par les abondantes données sur les anomalies magnétiques et par la confirmation récente des déductions tirées en ce domaine, du forage des sédiments et de la croûte océanique en mer du Labrador et dans l'océan Atlantique (Laughton, 1972; Srivastava et Tapscott, 1986). Au large de la Nouvelle-Écosse, l'océan Atlantique s'est ouvert il y a environ 160 millions d'années; à la marge sud-est du Grand banc, il y a 110 millions d'années; près du bassin Orphan, il y a 80 millions d'années; l'expansion a commencé en mer du Labrador il y a 70 millions d'années. Cette histoire compliquée de l'ouverture des océans se lit dans les événements océanographiques et tectoniques que révèlent les roches des bassins sédimentaires des marges et des océans eux-mêmes.

Nous ne sommes pas encore en mesure de comprendre autant que nous le voudrions les détails de cette histoire géologique, et cela pour diverses raisons : difficultés de repérage des miroirs sismiques en travers des talus continentaux; problèmes des échelles de durées; lacunes et ambiguités de la minéralogie; manque de carottes utilisables à partir des puits d'exploration; enfin, complexité structurale des roches des bassins sédimentaires — ainsi des dépots salins disloquent d'autres sédiments. Cependant, un certain nombre de problèmes spécifiques ont été réglés. Par example, Gradstein et Srivastava (1980) ont montré au cours de leur étude de la mer du Labrador et de la baie de Baffin, à l'aide de données géophysiques et de forages en mer profonde, que le courant du Labrador est apparu à une date relativement récente, c'est-à-dire il y a dix millions d'années.

Autre exemple de ce genre de problèmes, la datation précise du début de l'extension au large de la Nouvelle-Écosse et des bancs de Terre-Neuve; nous connaîtrons mieux l'évolution des bassins sédimentaires de ces régions, qui présentent une grande importance économique, si nous pouvons relier la minéralogie de ces bassins à l'histoire de l'expansion des fonds. Nous ne pouvons

pas utiliser pour cela les anomalies magnétiques, car le fond marin près de la marge s'est formé pendant l'une des zones de calme magnétique où les inversions de polarité étaient rares, de sorte qu'on ne peut appliquer avec précision l'échelle des temps magnétiques. L'une des méthodes consisterait à dater le début de l'expansion du fond marin par extrapolation à partir des datations de la croûte océanique, relativement peu nombreuses, obtenues grâce aux forages en mer profonde (p. ex. Sheridan, Gradstein *et al.*, 1983). Une autre méthode consiste à admettre que l'on peut raisonnablement relier le début de l'expansion au passage, observé dans les puits au large de la Nouvelle-Écosse, des évaporites et des roches classiques typiques d'un milieu de « rift » à des carbonates marins typiques d'un océan plus ou moins ouvert (Jansa et Wade, 1975). Ce changement de faciès, qu'on pourrait qualifier de rupture anormale est connu pour de nombreuses marges passives des bassins océaniques actuels; on commence à la signaler à partir des données recueillies sur les marges passives anciennes (H. Williams et C.E. Keen, Communication personnelle, 1987). Ces différentes approches ne sont pas toujours cohérentes, pour diverses raisons — le lien entre l'état du milieu marin et le début de l'expansion des fonds n'est pas toujours satisfaisant, et les échelles de durées servant à dater les différents phénomènes ne concordent pas toujours.

Ces échelles établies pour les coupes stratigraphiques dans les puits d'exploration se fondent sur des événements non récurrents de la faune et de la flore fossiles, foraminifères, ostracodes, calpionelles et dinoflagellés. Elles doivent être liées à l'échelle magnétique soit directement, par association avec les fossiles dans les bassins océaniques et la chronologie des anomalies magnétiques, soit indirectement à l'aide des coupes, à l'échelon mondial, de la faune et de la flore concernées et de leur lien avec l'histoire magnétique grâce à la « chronologie absolue ». La chronologie absolue dépend des âges radiométriques, qui sont encore relativement rares. L'échelle récemment établie par la Geological Society of America (Kent and Gradstein, 1987) montre que les auteurs n'avaient d'autre choix que de suivre les anciens errements en divisant arbitrairement un intervalle de temps donné en un certain nombre de parties égales. Il est évident que cela provoque des incertitudes.

Les notions de tectonique de plaques et d'expansion des fonds marins ont été appliquées avec succès à des chaînes de montagne comme les Appalaches et la Cordillère d'Amérique du Nord. Wilson (1966) a montré que l'Atlantique s'est ouvert puis refermé et ouvert de nouveau — le « cycle de Wilson », examiné ailleurs dans la présente revue annuelle par Keen dans son article sur les bassins sédimentaires. La tectonique des plaques est maintenant un modèle utilisé couramment pour expliquer les interactions des provinces géologiques des boucliers précambriens du monde (Gill *et al.*, 1983; Hoffman, sous presse). Dans des régimes collisionnels comme ceux des Alpes, de la Cordillère canadienne, de l'Himalaya et des Appalaches, ce modèle doit être modifié car les limites des plaques ne sont plus rigides. En conséquence, on accorde depuis 15 ans une attention particulière aux mécanismes de collision des plaques. Si vous glissez un couteau dans de la pâte feuilletée, les feuilles passent par dessus ou par dessous les deux surfaces de la lame; de la même façon, les éléments d'une plaque peuvent passer par dessus ou par dessous une autre plaque au moment de la collision, à toutes les échelles (Oxburgh, 1972; v. a. Price, 1986). Les chercheurs se sont aussi intéressés aux effets de la collision lorsque les bordures frontales des plaques sont irrégulières et qu'ainsi la collision se produit à des moments différents le long des marges. Ces deux problèmes sont au centre des travaux menés actuellement à l'Institut, car nous avons commencé à étudier l'histoire de la collision des Appalaches canadiennes par imagerie sismique, les observations à réflexion sismique aux canaux multiples pénétrant jusqu'à 60 km à l'intérieur de la terre (p. ex. Stockmal *et al.*, Sous presse).

La découverte de la tectonique des

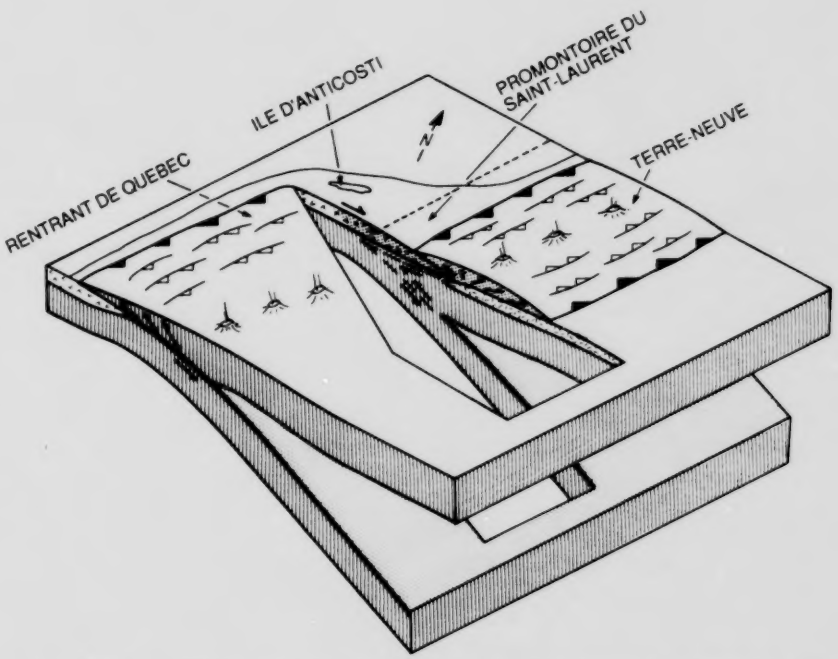


Fig. 6 Croquis en perspectives géométriques représentant la plaque lithosphérique suivant l'orogénèse acadienne. La découpe, qui suit la zone de faille coulissante dextre (hachurée) entre le rentrant de Gaspésie et Terre-Neuve, révèle la collision terreneuvienne entre le craton de Grenville et le bloc central de la croûte inférieure. La plaque de subduction nord-américaine a un caractère continu. (D'après Stockmal et al. *1987).*

plaques et de l'expansion des fonds marins a modifié la perception du monde chez les géologues et les géophysiciens et même dans le grand public. À cet égard, le nouveau paradigme a été pour la géologie ce qu'a été le darwinisme pour la biologie. La prochaine décennie nous apportera-t-elle des progrès aussi nets? Pour le moment, cette théorie n'enseigne pas grand chose sur les forces en cause. Un géologue peut appliquer des principes à un problème géologique particulier sans se demander : « Mais qui fait bouger les plaques? » S'il y a progrès, ce sera dans ce domaine avec peut-être la confirmation que le déplacement des plaques est un effet de convection dans l'ensemble du manteau, ou seulement de sa partie supérieure. Les travaux sont déjà bien avancés, et font appel à la tomographie sismique, tout comme les océanographes modernes utilisent la tomographie acoustique. Nos propres travaux roulent déjà là-dessus. La naissance d'une dorsale sur une marge passive embryonnaire pourrait être causée par une convection active sous la lithosphère au site même du rift, ou par étirement de la lithosphère par certaines forces en des points très éloignés de la zone de rift (Keen, 1985). Cette révolution scientifique va intégrer toute une série de phénomènes, différente de celle impliquant la tectonique de plaques et l'expansion des fonds : elle va certainement intégrer l'étude des roches ignées, l'histoire géochimique de la terre, peut-être même l'évolution de l'atmosphère et des océans terrestres ainsi que celle des roches.

Références

AUMENTO, F., ADE-HALL, J.M., et KEEN, M.J. 1975. 1974 — The year of the Mid-Atlantic Ridge. *Reviews of Geophysics and Space Physics 13:* 53-65.

BULLARD, E.C. 1975. The emergence of plate tectonics: A personnal view. *Earth and Planetary Sciences, Annual Reviews 3:* 1-30.

BULLARD, E.C., EVERETT, J.E., et SMITH, A.G. 1965. The fit of the continents around the Atlantic. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A258:* 41-51.

DAWES, P.R. et KERR, J.W. (dir. de publ.) 1982. Nares Strait and the drift of Greenland. *Greenland Geoscience 8:* 392 p.

FORTIER, Y.O. et MORLEY, L.W. 1956. Geological unity of the Arctic Islands. *Transactions of the Royal Society of Canada 50 (Series III):* 3-12.

GIBB, R.A., THOMAS, M.D., LAPOINTE, P.L., et MUKHOPADHYAY, M. 1983. Geophysics of proposed Proterozoic sutures in Canada. *Precambrian Research 19:* 349-384.

GRADSTEIN, F. et SRIVASTAVA, S. 1980. Aspects of Cenozoic stratigraphy and paleoceanography of the Labrador Sea and Baffin Bay. *Paleography, Paleoclimatology and Paleoecology 30:* 261-267.

HALL, J.M. *et al.* Sous presse. The vertical distribution and alteration of dykes in a profile from the Troodos ophiolite, Cyprus. *Nature.*

HESS, H.H. 1962. History of the ocean basins. *In* Petrologic Studies, a Volume in Honor of A.F. Buddington; dir. de publ. A.E.J. ENGEL, H.L. JAMES et B.P. LEONARD. Geological Society of America: 599-620.

HOFFMAN, P. Sous presse. Birth of a craton: Tectonic accretion of interior North America. *Earth and Planetary Sciences, Annual Reviews 15.*

JACKSON, H.R., KEEN, C.E., FALCONER, R.K.H., et APPLETON, K.P. 1979. New geophysical evidence for sea-floor spreading in central Baffin Bay. *Journal canadien des sciences de la terre 16 :* 2122-2135.

JANSA, L. et WADE, J. 1975. Geology of the continental margin off Nova Scotia and Newfoundland. *In* Offshore Geology of Eastern Canada: Volume 2 — Regional Geology: dir. de publ. W.J.M. VAN DER LINDEN et J.A. WADE. *Commission géologique du Canada, document 74-30 (v.2) :* 51-105.

KEEN, C.E. 1985. The dynamics of rifting: Deformation of the lithosphere by active and passive driving forces. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society 80:* 95-120.

KEEN, C.E. et BARRETT, D.L. 1971. A measurement of seismic anisotropy in the northeast Pacific. *Journal canadien des sciences de la terre 9 :* 1056-1064.

KEEN, C.E., BARRETT, D.L., MANCHESTER, K.S. et ROSS, D.I. 1971. Baffin Bay: An ocean? *Nature 229:* 551-553.

KEEN, M.J. 1983. The earth sciences at sea: Some observations on Canadian accomplishments. *Commission géologique du Canada, document 81-6 :* 9-18.

KEEN, M.J., JOHNSON, J. et PARK, I. 1972. Geophysical and geological studies in eastern and northern Baffin Bay and Lancaster Sound. *Journal canadien des sciences de la terre 9 :* 689-708.

KENT, D.V. et GRADSTEIN, F.M. 1985. A Cretaceous and Jurassic chronology. *Geological Society of America Bulletin 96:* 1419-1427.

LAUGHTON, A.S. 1972. The southern Labrador Sea — Key to the Mesozoic and early Tertiary evolution of the North Atlantic. *In* Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project: U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., v.12: 1155-1179.

MAXWELL, A.E. *et al.* 1970. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. US Government Printing Office, Washington, D.C. v. 3.

MCKENZIE, D.P. et PARKER, R.L. 1967. The North Pacific: An example of tectonics on a sphere. *Nature 216:* 1276-1280.

MORGAN, W.J. 1968. Rises, trenches, great faults and crustal blocks. *Journal of Geophysical Research 73:* 1959-82.

OXBURGH, E.R. 1972. Flake tectonics and continental collision. *Nature 239:* 202-204.

PELLETIER, B.R. 1966. Development of submarine physiography in the Canadian Arctic and its relationship to crustal movements. *In* Continental Drift; dir. de publ. G.D. GARLAND. Société royale du Canada, Publication spéciale 9 : 77-101.

PRICE, R.A. 1986. The southeastern Canadian Cordillera: Thrust faulting, tectonic wedging and delamination of the lithosphere. *Journal of Structural Geology 8:* 239-254.

RYALL, P. Sous presse. Drilling of sulphides on the Juan de Fuca Ridge. EOS, Transactions of the American Geophysical Union.

SHERIDAN, R.E. et GRADSTEIN, F.M. 1983. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. US Government Printing Office, Washington, D.C., v. 76.

SRIVASTAVA, S.P. et TAPSCOTT, C.R. 1986. Plate kinematics of the North Atlantic. *In* The Geology of North America, volume M, The western North Atlantic region; dir. de publ. P.R. VOGT et B.F. TUCHOLKA. Geological Society of America: 379-404.

STOCKMAL, G.S., COLEMAN-SAAD, S.P., KEEN, C.E., O'BRIEN, S.J. et QUINLAN, G. Sous presse. Collision along an irregular margin: A regional plate tectonic interpretation of the Canadian Appalachians. *Journal canadien des sciences de la terre.*

SYKES, L.R. 1967. Mechanism of earthquakes and nature of faulting on mid-ocean ridges. *Journal of Geophysical Research 72:* 2131-2153.

VACQUIER, V. 1959. Measurement of horizontal displacement along faults in the ocean floor. *Nature 183:* 452-453.

VINE, F. et MATTHEWS, D.H. 1963. Magnetic anomalies over ocean ridges. *Nature 199:* 947-949.

WILSON, J.T. 1965a. A new class of faults and their bearing on continental drift. *Nature 207:* 343-347.

WILSON, J.T. 1965b. Transform faults, oceanic ridges, and magnetic anomalies southwest of Vancouver Island. *Science 150:* 482-485.

WILSON, J.T. 1966. Did the Atlantic close and then reopen? *Nature 211:* 676-681.

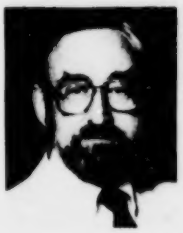
La marée noire — de la pollution globale à la source alimentaire benthique

Eric M. Levy, Paul D. Keizer et John H. Vandermeulen

Eric Levy

Le début des années 1970 : l'époque des grands déversements et de l'hystérie écologique

PAR une nuit de tempête en février 1970, le pétrolier ARROW, battant pavillon libérien, s'échouait dans la baie Chedabucto, déversant la majeure partie de sa cargaison de mazout de type Bunker C et contaminant par la suite une grande partie du littoral atlantique de la Nouvelle-Écosse, qui jusque-là n'avait subi aucune pollution. C'est ainsi que le tout nouvel Institut océanographique de Bedford fut brusquement plongé dans sa première grave crise environnementale. Des souvenirs d'autres catastrophes étaient encore brûlants : le TORREY CANYON dans la Manche où les mesures rudimentaires de nettoyage causèrent plus de dommages à l'environnement que le déversement lui-même; l'accident du FLORIDA à Cape Cod qui révéla l'impact dévastateur et chronique du pétrole sur la vie marine à un moment et en un lieu défavorables; l'éruption du puits Santa Barbara et l'énorme propagande menée à la télévision sur les souffrances et les pertes de la faune. Il fut alors décidé de suspendre bon nombre de projets de recherche à l'Institut et de demander aux chercheurs d'apporter leur concours à l'équipe d'intervention mise sur pied pour lutter contre ce sinistre. Tandis que les biologistes de la vie marine étaient chargés d'évaluer l'impact du déversement sur le biote, les physiciens océanographes essayaient de prévoir la dérive de la nappe à la surface de la mer et sous la surface, les géologues examinaient la perturbation des processus littoraux et une équipe de chimistes, nouvellement créée, menait des travaux pour quantifier le volume de pétrole qui pénétrait dans la colonne d'eau. La nécessité de l'obtention de données sur ce dernier phénomène, en particulier, se révéla impérieuse lorsque des gouttelettes-particules de pétrole furent observées dans la colonne d'eau, dans un courant



John Vandermeulen

de 5 à 15 milles de largeur et se propageant direction sud-ouest, au-dessus du plateau continental Scotian, au moins jusqu'à Halifax, et lorsque la présence de pétrole fut décelée dans les intestins des copépodes, qui probablement avaient dû l'ingérer pendant leur alimentation. De toute évidence, le déversement entraînait donc de graves répercussions sur les pêcheries du plateau continental Scotian en raison de son impact éventuel sur la vie marine et des risques de boycottage du poisson canadien par les consommateurs.

La première étape dans la résolution de ce problème consistait à déterminer la quantité de pétrole qui avait réellement pénétré dans la colonne d'eau. En conséquence, plusieurs études furent menées pour mesurer la concentration de pétrole dans les eaux de la baie Chedabucto et au-dessus du plateau continental Scotian. Pour fournir une

Paul Keizer

estimation de la concentration de fond avant le déversement, on a également effectué une étude exploratoire des eaux du golfe du Saint-Laurent, zone de nature océanographique identique, mais non polluée par le déversement. Ces travaux ont démontré que la concentration de pétrole dans la colonne d'eau au-dessus du plateau Scotian avait été essentiellement ramenée à sa valeur antérieure au déversement dans l'année qui a suivi l'incident, et ont laissé entendre que la principale source de résidus pétroliers dissous-dispersés dans le golfe était les eaux qui viennent de l'Atlantique Nord par le détroit de Cabot, et non pas, comme on l'avait supposé au préalable, celles qui proviennent de l'estuaire du Saint-Laurent (Levy, 1972). Le hasard voulut que des données aient été recueillies presque exactement sur le site où devait couler la barge IRVING WHALE, quelques mois plus tard. Pour la première fois dans le monde, on disposait de données de base permettant d'évaluer l'impact d'un accident maritime et il était évident, dans ce cas, que l'incident n'aurait aucun impact écologique grave, une prédiction qui devait se révéler valide. Étant donné que les mesures coercitives pour empêcher le déversement de résidus pétroliers en mer étaient rares à l'époque, épandage de pétrole sur les côtes de l'Atlantique était un phénomène courant et l'on faisait souvent appel aux compétences de l'Institut pour

identifier les sources présumées. En particulier, l'apparition de mazout sur les plages de l'Île-du-Prince-Édouard a inévitablement soulevé un tollé général à cause d'une fuite présumée de l'IRVING WHALE et des risques de ruine d'une industrie de première importance. Même si cet événement semblait se produire chaque année, depuis plusieurs années, il a été prouvé, dans chaque cas, par des méthodes analytiques mises au point à l'Institut, que les hydrocarbures provenaient d'une autre source que l'épave de la barge.

Tandis que l'Institut faisait face à des problèmes locaux, Heyerdahl (1971) rapportait qu'il avait observé des taux élevés de pollution dans l'océan Atlantique, au cours de sa traversée sur RA II. Voici un extrait de ses propos :

> *« Au cours d'une observation quotidienne, nous constatons l'effroyable pollution de l'océan. Des mottes de mazout solidifié — servant de support flottant à des balanes — apparaissent souvent, et sont accompagnées de bouteilles de plastique et autres déchets urbains. Parfois, l'eau est totalement recouverte de mousse savonneuse et de liquides huileux luisant de toutes les couleurs ».*

Effectivement, il signale que la pollution par les hydrocarbures est d'une telle ampleur que « les mottes noires d'asphalte flottant » sont présentes durant toute la traversée, à l'exception de trois jours seulement. Ces observations, qui ont fait l'objet d'une vaste publicité, coïncidaient avec la sensibilisation de l'opinion publique au déclin radical des populations de plusieurs espèces d'oiseaux causé par les pesticides, et avec la présence constante de nuages de smog au-dessus de nombreuses régions industrielles à forte densité démographique, signe manifeste des activités humaines polluantes, et ont contribué à nourrir le mouvement écologiste du début des années 1970. Toutes les conditions étaient réunies pour que l'hystérie de la thèse de « la mort des océans » se substitue à la conception antérieure d'un « océan infini », capable d'assimiler indéfiniment les déchets d'une population mondiale à croissance rapide et de nourrir en même temps les peuples sous-alimentés du globe.

La victoire de la raison : l'hystérie écologique cède le pas à la recherche scientifique

Face à ce sombre tableau de l'environnement du début des années 1970, l'Institut a instauré plusieurs programmes pour traiter de la question de la pollution des océans par les hydrocarbures. Parmi les premiers de ces programmes figurait une recherche en océanographie chimique sur la fréquence et la répartition des résidus pétroliers particulaires (boules de goudron) flottant sur l'Atlantique du Nord, et, pendant plusieurs années, le prélèvement d'échantillons d'hydrocarbures représentait une tâche quotidienne pour tous les navires de recherche de l'IOB. Dès 1974, on avait accumulé suffisamment de données pour démontrer que le goudron dans l'Atlantique du Nord-Ouest était associé en majeure partie avec le réseau mer des Sargasses-Gulf Stream et que les régions nordiques étaient essentiellement exemptes de cette forme de contamination par les hydrocarbures (Levy et Walton, 1976). Dans le même temps, des expéditions régulières étaient entreprises entre 1971 et 1975 pour examiner les variations saisonnières et spatiales de la concentration de la contamination par les hydrocarbures dans l'Atlantique du Nord entre Halifax et les Bermudes (Gordon *et al.*, 1974). Des études concernant les effets du pétrole sur la photosynthèse marine dans les assemblages naturels de phytoplancton et les cultures algales monospécifiques ont établi que la productivité photosynthétique était considérablement améliorée à de très faibles concentrations d'hydrocarbures, mais qu'elle était altérée et qu'elle finissait par s'annuler à des concentrations plus élevées. Des travaux ont également été poursuivis sur les concentrations des hydrocarbures dans les eaux au-dessus du plateau continental de l'Atlantique canadien et dans les sédiments de surface du plateau Scotian (Keizer *et al.*, 1978a). D'autre part, un programme visant à surveiller la répartition des résidus pétroliers dissous-dispersés dans le golfe du Saint-Laurent a été amorcé. Des relevés répétés entre 1970 et 1979 ont non seulement confirmé que la principale source de ces substances dans le golfe est, en fait, les eaux de l'Atlantique, mais ont également démontré qu'une baisse marquée de leur concentration de fond s'est produite au cours du début des années 1970, et que, dès 1975, un état d'équilibre avait été atteint, approximativement identique à celui qui existe dans les eaux « vierges » du nord du Canada (Levy, 1885). Cette diminution semblait être le fruit des mesures prises à la fin des années soixante et au début des années soixante-dix en vue d'interdire le déversement direct d'hydrocarbures dans le golfe et de réglementer les déversements en haute mer, et il découlait clairement de ces faits que la résolution d'un problème environnemental d'intérêt national peut très bien se faire hors de la juridiction directe d'une nation.

Entre temps, par suite des préoccupations grandissantes au sujet de la dégradation de l'environnement, la Conférence de Stockholm sur l'environnement en 1972 recommandait de mettre en oeuvre un programme pour surveiller la pollution sur une échelle globale et de planifier, comme première étape, un projet-pilote pour établir le cadre d'une entreprise d'envergure. Les huiles dérivées du pétrole ont été finalement choisies comme polluant d'intérêt global qui se prête le mieux aux objectifs d'un tel projet, et, étant donné notre expérience dans l'étude de la contamination par les hydrocarbures en milieu canadien, l'IOB a été chargé de participer à la conception et à la gestion du projet. Cette participation s'est amplifiée au cours des années qui ont suivi, et l'IOB a fini par jouer un rôle prépondérant durant toute la phase opérationnelle ainsi que pour l'interprétation des résultats et leur publication (Levy, 1984). Entre 1975 et 1978, des données ont été obtenues à partir de près de 100 000 observations visuelles de nappes flottantes, plus de 5 000 collections de boules de goudron, 3 000 échantillons d'eau à une profondeur de 1 m et 3 500 prélèvements de goudron échoué sur les plages. En dépit des problèmes inhérents à un telle étude multinationale, les résultats ont démontré que les nappes en surface et le goudron flottant se rencontraient essentiellement près des principales routes des pétroliers tandis que de vastes zones des océans du globe étaient relativement

exemptes de cette contamination. Donc, les données résultant de ce projet, ainsi que les nôtres, contredisaient les déclarations de Heyerdahl sur le degré de pollution de l'Atlantique Nord par les hydrocarbures . . . de toute évidence, RA II se déplaçait avec une zone d'eau exceptionnellement polluée qui était charriée à travers l'Atlantique Nord par le réseau du courant des Canaries et du courant nord-équatorial. En fait, le papyrus dont il était construit aurait même pu servir d'agent de dépollution dans la récupération des boules de goudron flottantes! Le projet a également révélé que des résidus pétroliers dissous-dispersés à des concentrations de l'ordre du microgramme par litre étaient présents dans les eaux de surface, presque partout, même dans les zones les plus éloignées de l'océan. Ce phénomène répandu sous-entend une source diffuse pour cette forme de contamination pétrolière et, par conséquent, suppose que les processus de transport à grande distance et de dépôt des polluants atmosphériques sont en jeu.

Des études écologiques et biologiques de la pollution par les hydrocarbures ont également commencé à l'IOB avec le déversement de l'ARROW, lorsque des recherches menées sur le site du déversement ont indiqué une mortalité élevée du biote intertidal et ont, depuis, débouché sur des études de la réaction des organismes marins au niveau des individus, des populations et des écosystèmes à l'exposition aux hydrocarbures, à des concentrations léthales et sublétales, et sur des études des taux de rétablissement. Des résidus de pétrole déversé de l'ARROW étant visibles sur les côtes de la baie Chedabucto, quatre ans après le déversement, un programme a été entrepris pour déterminer sa persistance à long terme et son impact sur le milieu marin. À la suite d'un relevé des concentrations d'hydrocarbures subsistant dans les sédiments inter- et subtidaux (Keizer *et al.*, 1978b), des études sur le mouvement et les dégradations chimiques et microbiennes des résidus pétroliers dans la zone intertidale ont établi que les hydrocarbures agglutinés à la plage ont tendance à devenir des réservoirs à long terme d'où peuvent être libérés les contaminants qui sont alors

Roger Belanger

Doug Loring et Martin Thomas observent un oiseau couvert de mazout sur les rivages de la baie Chedabucto, après le naufrage du pétrolier Arrow.

renvoyés dans les eaux superficielles. Les polychètes déposivores, prélevés dans des sédiments mazoutés, semblent jouer un rôle important dans la dégradation naturelle des hydrocarbures (Gordon *et al.*, 1978). Les tissus des myes provenant de ces sédiments montraient invariablement un contenu global similaire en hydrocarbures et les populations présentaient des perturbations de croissance et des anomalies dans les rapports jeunes-adultes (Gilfillan et Vandermeulen, 1978). Les bivalves ne possèdent pas de système d'oxydases à fonction mixte (OFM) et ne peuvent, par conséquent, se débarrasser que lentement de la contamination pétrolière (Vandermeulen et Penrose, 1978).

Parallèlement à ces travaux biologiques, des études sur la fréquence et la répartition des résidus pétroliers dans les eaux canadiennes ont été poursuivies en vue d'établir la gamme des concentrations de fond des résidus pétroliers dissous-dispersés dans les eaux de tout l'Atlantique et des régions arctiques de l'est du Canada. Ces données serviraient de base à l'évaluation de l'impact des futurs déversements accidentels et des activités d'exploration en haute mer, et sont actuellement accessibles pour toute la côte est du Canada, notamment la baie de Baffin, le détroit d'Hudson, les zones du plateau continental du bassin Foxe et du Labrador, les Grands Bancs et le plateau continental Scotian (Levy, 1986). Des études sur les concentrations de fond des résidus pétroliers dans l'Arctique se sont révélées d'un intérêt particulier lorsqu'il a été établi qu'une nappe de pétrole, découverte au large de l'île de Baffin en 1976, était constitué d'un pétrole brut partiellement altéré. Dans les circonstances, un phénomène de suintement naturel depuis le fond marin semblait être la seule source raisonnable. Des mesures ultérieures de la répartition des hydrocarbures volatils et des résidus pétroliers dans la colonne d'eau et dans les sédiments superficiels du fond marin ont confirmé que la source de la nappe de pétrole était, effectivement, un suintement naturel et ont permis de localiser le site d'où s'échappait le pétrole (MacLean *et al.*, 1981). Des études géologiques et géophysiques complémentaires ont établi que le pétrole migrait depuis la couche sédimentaire sous-jacente le long de la zone de contact avec le socle Précambrien. Un examen visuel direct du fond marin à l'aide du sous-marin de recherche, PISCES IV, a permis de repérer ce que l'on pensait être des dépôts sédimentaires formés par le suintement de gaz. Du méthane, d'autres hydrocarbures de faible poids moléculaire et du sulfure d'hydrogène ont été prélevés au cours de leur migration ascensionnelle depuis le fond marin (Grant *et al.*, 1986). Des expériences ont également été effectuées pour déterminer le temps nécessaire au pétrole pour monter à la surface de la mer et fournir ainsi une estimation du degré de dégradation susceptible de se produire dans la colonne d'eau. Le point capital est le suivant : un échantillon de pétrole liquide a été récupéré d'un spécimen de roche prélevé dans le fond marin et son analyse a balayé les derniers doutes qui subsistaient au sujet de l'origine de la nappe en surface. En outre, il a été prouvé que les formations de « boue

blanche » présentes sur le fond marin au voisinage des points de suintement étaient constituées de *Beggiatoa* (organisme responsable de la chimiosynthèse aux sources hydrothermales des grands fonds et donnant naissance aux communautés exceptionnellement prolifiques des organismes benthiques qui sont totalement indépendants de la production primaire photosynthétique) et d'autres bactéries capables de dégrader les hydrocarbures. Comme tous les constituants de la chimiosynthèse sont présents à l'inlet Scott, il a été admis que la productivité chimiosynthétique peut expliquer une partie considérable de la productivité annuelle totale de cette région. Étant donné la correspondance frappante entre les zones de suintement connu de pétrole et de gaz et les zones de pêche commerciale, il semble que le flux d'énergie provenant du suintement naturel représente effectivement une contribution positive importante aux pêcheries.

Depuis sa première intervention dans la lutte contre la marée noire de l'ARROW, l'IOB a maintes fois prêté son concours au ministère des Transports dans l'élaboration de stratégies contre les déversements d'hydrocarbures, le cas le plus notable étant celui du KURDISTAN, où la majeure partie du littoral de la Nouvelle-Écosse et des sections de la côte sud de Terre-Neuve ont été polluées. Outre la modélisation de la dérive du pétrole, un programme biennal a été entrepris pour déceler l'origine du pétrole, pour surveiller sa répartition et son évolution sur le plateau Scotian et pour déterminer la source du pétrole épandu sur la côte. Ces données ont fourni une preuve importante lors du procès intenté aux propriétaires du pétrolier et visant le recouvrement de plusieurs millions de dollars pour les opérations de nettoyage. Dans de nombreux cas, les oiseaux de mer ont été contaminés par le pétrole et la quantité infime nécessaire pour causer la mort d'un oiseau, dans les conditions hivernales extrêmement rigoureuses de l'Atlantique Nord, apporte la preuve irréfutable de l'impact catastrophique que pourrait avoir un déversement sur des colonies d'oiseaux de mer, si un tel accident se produisait pendant l'exploration, la production ou le transport de pétrole et de gaz dans l'Arctique. Étant donné son expérience en matière de lutte contre les grands déversements d'hydrocarbures, l'IOB a été invité à participer à l'étude scientifique de la marée noire de l'AMOCO CADIZ, en France, en 1978. En conséquence, plusieurs études ont été menées sur l'interaction physique du pétrole et des plages de sable ainsi que sur les effets des méthodes de nettoyage.

Heinz Wiele

Après l'incident du Kurdistan, *un scientifique s'approche de la bordure d'une plaque de glace flottante pour recueillir un échantillon d'eau et de pétrole dans la baie Chedabucto.*

La découverte de gaz et de condensat sur le plateau Scotian et celle de pétrole brut sur les Grands bancs ont conféré une nouvelle dimension aux dangers que présentent les hydrocarbures pour le littoral atlantique. Bien que des expériences antérieures aient établi que même les éléments volatils et de faible poids moléculaire du pétrole brut puissent persister sur une période beaucoup plus longue que prévu d'après les modèles thermodynamiques, une étude des modifications chimiques du condensat échoué sur une plage de sable à mode calme, sur la côte orientale de Nouvelle-Écosse, a confirmé que les éléments solubles-normalement volatils du condensat peuvent subsister, sans grande modification chimique, pendant de nombreux mois, voire des années (Strain, 1986). Des travaux ultérieurs ont démontré que le facteur limitant est le taux de dégradation par les microorganismes, la succession des phénomènes étant la suivante : une réaction toxique initiale au cours de laquelle les microorganismes sont détruits par le condensat, suivie d'un accroissement du nombre des bactéries qui utilisent le carbone libéré par la destruction des organismes vulnérables, et finalement d'une augmentation du nombre des bactéries qui dégradent les hydrocarbures. Le taux de dégradation devient alors limité par l'apport d'éléments nutritifs inorganiques, mais inversement, le taux global de dégradation peut être considérablement accru, à ce stade, par un réapprovisionnement périodique en éléments nutritifs.

La bioassimilation des hycrocarbures pétroliers a été étudiée sur la sole anglaise *Parophrys vetulus* et l'omble de fontaine *Salvelinus fontinalis*. Avec ce dernier, l'induction du système OFM a été supérieure avec le mazout de type Bunker C qu'avec le diesel et s'est manifestée après qu'une concentration-seuil des hydrocarbures dans les tissus ait été dépassée. Des études sur le stress des poissons causé par les hydrocarbures sont en cours avec des saumons de l'Atlantique au stade larvaire et au stade juvénile, soumis à des stress simultanés résultant d'une croissance rapide et d'un transfert de l'eau douce à l'eau salée.

D'autres études des effets subléthaux ont porté sur des modifications des modes de broutage des copépodes exposés au naphtalène et au pétrole brut, des changements au niveau de l'appareil respiratoire, notamment la stabilité de la capacité de liaison de l'hémocyanine à l'oxygène chez le crabe *Cancer irroratus* exposé au pétrole brut du Koweit. L'inexistence d'un pouvoir mutagène du pétrole brut et des pétroles raffinés chez l'algue unicellulaire *Chlamydomonas reinhardtii* a été comparée à la toxicité et à l'activité mutagène de certains pétroles et de leurs fractions solubles dans l'eau (Vandermeulen *et al.*, 1985).

Un nouveau défi : les hydrocarbures peuvent-ils avoir un effet bénéfique sur les écosystèmes marins?

Bien que l'impact préjudiciable des hydrocarbures sur la vie marine ait été amplement démontré par des expériences en laboratoire, l'extrapolation de ces observations en « situation réelle » a été minime, et les tentatives faites dans le passé pour évaluer les effets des hydrocarbures à des concentrations subléthales sur les ressources vivantes du milieu marin ont été tout au plus peu concluantes. Malgré l'extrême complexité de cette tâche, en raison de la variabilité normale inhérente à ces ressources, il est désormais inacceptable de supposer que ces effets n'existent tout simplement pas parce qu'ils ne peuvent être observés par les méthodes actuelles, ou d'éluder le problème en prétendant que l'impact des hydrocarbures est négligeable comparativement aux fluctuations naturelles subies par les populations d'organismes marins. L'impact des hydrocarbures sur les organismes marins doit être considéré comme un stress supplémentaire qui se superpose aux stress auxquels les individus sont déjà soumis. Ce concept doit alors être appliqué au niveau de la population et considéré sur le plan de l'effet cumulatif d'un stress supplémentaire imposé à un système qui l'éprouve déjà et doté d'une capacité limitée à le tolérer. Par ailleurs, il est de plus en plus prouvé que, dans le cas où un écosystème est doté d'un grand pouvoir d'adaptation, comme dans les zones de suintement naturel, les hydrocarbures peuvent représenter un facteur important dans la productivité benthique globale et dans la production de coquillages et autres espèces commerciales. Si cet effet des hydrocarbures sur le milieu marin est encore du domaine de la spéculation, il pose néanmoins un nouveau défi dans le monde de la recherche.

Bibliographie

GILFILLAN, E.S. et VANDERMEULEN, J.H. 1978. Alterations in growth and physiology in soft-shell clams *Mya arenaria* chronically oiled with Bunker C from Chedabucto Bay, Nova Scotia, 1970-1976. *Journal de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada 35* : 630-636.

GORDON, D.C., JR., DALE, J., et KEIZER, P.D. 1978. Importance of sediment working by the deposit-feeding polychaete *Arenicola marina* on the weathering rate of sediment-bound oil. *Journal de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada 35* : 591-603.

GORDON, D.C., JR., KEIZER, P.D. et DALE, J. 1974. Estimates using fluorescence spectrophotometry on the present state of petroleum hydrocarbon contamination in the water column of the northwest Atlantic Ocean. *Marine Chemistry 2*: 251-261.

GRANT, A.C., LEVY, E.M., LEE, K. et MOFFATT, J.D. 1986. PISCES IV research submersible finds oil on Baffin shelf. Commission géologique du Canada, *Paper 86-1A*: 65-69.

HEYERDAHL, T. 1971. The Ra Expeditions. New York; Doubleday and Co.

KEIZER, P.D., DALE, J. et GORDON, D.C., JR. 1978a. Hydrocarbons in surficial sediments from the Scotian Shelf. *Geochimica et Cosmochimica Acta 42*: 165-172.

KEIZER, P.D., AHERN, T.P., DALE, J., et VANDERMEULEN, J.H. 1978. Residues of Bunker C oil in Chedabucto Bay, Nova Scotia, 6 years after the ARROW spill. *Journal de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada 35* : 528-535.

LEVY, E.M. 1972. Evidence for the recovery of the waters off the east coast of Nova Scotia form the effects of a major oil spill. *Water, Air and Soil Pollution 1*: 144-148.

LEVY, E.M. 1984. Oil pollution in the world's oceans. *Ambio 13*: 226-235.

LEVY, E.M. 1985. Background levels of dissolved/dispersed petroleum residues in the Gulf of St. Lawrence, 1970-1979. *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques 42* : 544-555.

LEVY, E.M. 1986. Background levels of petroleum residues in the waters and surficial bottom sediments of the Labrador Shelf and Hudson Strait/Foxe Basin regions. *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques. 43* : 536-547.

LEVY, E.M. et WALTON, A. 1976. High seas oil pollution: Particulate petroleum residues in the North Atlantic. *Journal de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada 33* : 2781-2971.

MACLEAN, B., FALCONER, R.K.H., et LEVY, E.M. 1981. Geological, geophysical and chemical evidence for natural seepage of petroleum off the northeast coast of Baffin Island. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology 29* : 75-95.

STRAIN, P.M. 1986. The persistence and mobility of a light crude oil in a sandy beach. *Marine Environmental Research 19*: 49-76.

VANDERMEULEN, J.H., FODA, A., et STUTTARD, C. 1985. Toxicity vs mutagenicity of some crude oils, distillates and their water-soluble fractions. *Water Research 9*: 1283-1289.

VANDERMEULEN, J.H. et PENROSE, W. 1978. Absence of aryl hydrocarbon hydroxylase (AHH) in three marine bivalves. *Journal de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada 35* : 643-647.

Dissipation d'énergie et progrès dans l'étude de la microstructure de l'océan

Neil S. Oakey

Neil Oakey

LA dissipation d'énergie est l'expression qui sert à décrire la transformation d'énergie cinétique en chaleur. Étant donné qu'il y a conservation de l'énergie, d'où provient-elle finalement? Il y a lieu d'en parler incidemment. C'est le soleil qui en est la principale source. Pilote de nos systèmes climatiques, il produit les vents qui créent les vagues et les courants et qui animent l'océan. Une partie de cet apport continu d'énergie solaire est contrebalancée par le frottement, qui dissipe l'énergie. Une autre source d'énergie apparaît dans les grandes marées créées par l'attraction gravitationnelle qu'exerce la lune sur les eaux de nos océans. Lorsque les marées traversent nos plates-formes continentales, une grande quantité d'énergie est dissipée sur le fond par frottement. L'énergie est ainsi transférée de la vitesse orbitale de la lune aux marées par lesquelles elle est dissipée. La lune devrait donc ainsi se rapprocher lentement de la terre!

Du point de vue de l'océanographe, la dissipation d'énergie constitue une partie mesurable des processus de mélange turbulent. Si on peut mesurer toute l'énergie transformée en chaleur à un certain point de l'espace et du temps, et si l'on pose pour hypothèse que cette quantité est égale à celle de l'énergie fournie au champ turbulent par un forçage extérieur (comme dans les deux exemples mentionnés plus haut), le taux de dissipation d'énergie peut servir à déterminer certains paramètres de mélange.

Ces paramètres peuvent nous aider à mesurer, par exemple, le rythme auquel les nutriments sont mélangés verticalement dans la colonne d'eau en raison de la turbulence produite par les marées. Ils peuvent aussi nous aider à comprendre l'homogénéisation d'eaux provenant de deux sources différentes et présentant des températures, des salinités et des teneurs en nutriments très différentes. Dans l'analyse qui suit, les termes dissipation et turbulence seront dans une certaine mesure interchangeables, car la turbulence constitue le cadre dans lequel la dissipation peut se produire par frottement. Lorsqu'il existe un faible gradient de température, la turbulence cause des fluctuations thermiques à petite échelle dans l'espace. La microstructure de la température nous sert à décrire ce phénomène et, de la même manière, la microstructure de la vitesse décrit les fluctuations de vitesse que nous mesurons pour estimer la dissipation d'énergie.

Le « praticien de la microstructure » essaye de mesurer les champs hydrophysiques jusqu'à l'échelle la plus petite de leurs variations, et d'interpréter ces mesures en termes de processus physiques. Dans l'océan, cela veut dire mesurer des fluctuations thermiques de quelques microdegrés sur des distances de quelques millimètres et des fluctuations de vitesse de l'ordre de 0,1 mm/s sur des distances de moins de 1 cm. C'est seulement grâce à de petites sondes rapides nouvellement mises au point et à des véhicules insonores à prélèvement rapide que ces exigences ont pu être satisfaites.

Pour étudier l'évolution en 25 ans de nos connaissances sur les processus à petite échelle, il est intéressant d'examiner la situation qui existait en 1962 en ouvrant les revues les plus prestigieuses de l'époque. Au début des années soixante, de nombreux et brillants travaux théoriques avaient été réalisés par des scientifiques de divers pays en mal de comprendre le phénomène de turbulence. Bon nombre de ces études portaient sur la compréhension des phénomènes dans l'atmosphère et dans l'océan. En 1962, le *Journal of Geophysical Research* consacrait un numéro entier au résumé du symposium international sur les problèmes fondamentaux de la turbulence et leur relation avec la géophysique. Les quelques titres qui suivent donnent une idée de la gamme des sujets couverts :

— *Certaines caractéristiques de la turbulence atmosphérique*, par A.M. Obukhov,

— *Structure de la turbulence dans des milieux stratifiés*, par R. Bolgiano, Jr.,

— *Modèles mathématiques généralisant le modèle de la turbulence homogène et isotrope*, par A.M. Yaglom,

— *Mesure du taux de dissipation de l'énergie turbulente près de la surface de la mer en présence de vagues*, par R.W. Stewart et H.L. Grant.

Dans un autre journal, *Deep-Sea Research*, nous n'avons relevé qu'un article sur le mélange océanique, dû à la plume d'Eric Eriksson, qui présentait essentiellement un modèle de transport, les mécanismes de mélange n'étant pratiquement pas analysés. Le *Journal of Fluid Mechanics* a présenté en 1962 plusieurs articles sur le sujet, notamment deux sur le mélange turbulent et la dissipation dans un chenal de marée sur la côte ouest du Canada, signé par R.W. Stewart, H.L. Grant et A. Molliet. En 1962, une bonne partie du travail théorique sur la turbulence était en place, et pouvait servir de point de départ à des études ultérieures sur l'océan profond. Les sondes et les instruments se perfectionnaient et servaient aux études de la dissipation d'énergie par turbulence près de la surface.

La fin des années soixante et le début des années soixante-dix, ont vu le début d'une période de travail intense sur la mesure de la microstructure et de la turbulence, travail stimulé par l'apparition d'instruments et de capteurs nouveaux. C.S. Cox et ses étudiants mettaient au point le premier d'une série de véhicules utilisés en chute libre pour mesurer des fluctuations de la température de l'ordre de quelques microdegrés jusqu'à des profondeurs de 2 km, et ont montré l'existence d'une microstructure très marquée, que l'on pensait causée par le mélange turbulent. Les chercheurs ont mesuré le flux vertical de chaleur et de nutriments en utilisant des équations très simplifiées de la turbulence et les mesures de l'intensité des fluctuations de la température, paramétrisées grâce au Nombre de Cox. Les spécialistes de la « ligne ondulante » (wiggly line), comme on appelle souvent ceux qui s'intéressent à la microstructure, utilisaient la méthode du Nombre de Cox pour comparer leurs résultats aux estimations à grande échelle fournies par les profils de la température moyenne et l'échantillonnage géochimique.

C'est vers cette époque qu'a été lancé à l'Institut océanographique de Bedford un programme d'étude de la microstructure, avec la mise au point par N.S. Oakey et J.A. Elliott d'un profileur mouillé sur le câble lourd d'une sonde CTP. Cet appareil mesurait les fluctuations de la température grâce à des thermomètres à mince couche de platine, et a servi pour l'expérience « déversoir » dans le détroit de Danemark en 1973, ainsi que pour des mesures dans la couche mixte au cours du programme de recherches atmosphériques globales réalisé dans l'Atlantique équatorial (expérience GATE), en 1974.

Une nouvelle sonde de turbulence, très simple, destinée aux mesures de la microstructure de la vitesse, a été mise au point à l'université de Colombie-Britannique, au début des années soixante-dix, par T. Osborn et T. Siddon. Ce type de capteur, appelé *Shear Probe*, est devenu partie intégrante de la plupart des profileurs de la génération suivante, mis au point en divers laboratoires. À l'Institut, un capteur de ce type a été conçu et intégré à l'un des premiers véhicules câblés à chute libre, l'OCTUPROBE, mis au point en 1974 et en 1975. Plusieurs autres véhicules similaires ont été construits par la suite dans divers laboratoires, mais une brève description de l'OCTUPROBE résume la plupart des caractéristiques importantes de ces engins.

L'OCTUPROBE est un véhicule de 2 m de longueur et 0,15 m de diamètre, à profilage vertical, *à chute libre*, qui descend « très tranquillement » jusqu'à une profondeur de 100 à 150 m. Il traîne un *câble* de rappel, qui n'exerce aucune traction mais sert à récupérer l'instrument. Grâce à ce véhicule, les chercheurs ont l'avantage de disposer d'un instrument à faible vibration qu'ils peuvent rapidement récupérer, de façon à obtenir de nombreux profils étroitement rapprochés dans le temps. Étant donné que tous les phénomènes de mélange turbulent se produisent de façon intermittente, cette caractéristique permet d'effectuer de nombreuses mesures, et nous aide donc à mieux calculer les valeurs moyennes. L'OCTUPROBE enregistrait les données de façon autonome; son activité était donc limitée à 25 ou 30 minutes de profilage. Les nouveaux instruments utilisent le câble de rappel comme liaison, ce qui permet de les monter ou de les descendre en continu pendant plusieurs heures.

Grâce à ces instruments et capteurs nouveaux, les scientifiques ont fait de nombreuses et intéressantes découvertes touchant « l'épiderme » de l'océan. En 1976, Oakey et Elliott ont obtenu des profils de la turbulence dans la couche mixte, sur la plate-forme Scotian, pendant une période de 10 jours et dans des conditions de vent très variables. Ils ont trouvé que la dissipation d'énergie y était directement proportionnelle à l'énergie du champ éolien (et égale à 1 ou 2% de cette énergie). La plus grande partie de l'énergie transmise à l'océan par le champ éolien semblait se dissiper, et la quantité qui servait à enfoncer la couche mixte était faible.

De nombreuses expériences ont été réalisées dans divers régimes océaniques, en vue d'établir des liens entre les processus physiques à petite échelle et les éléments à grande échelle qui sont d'habitude étudiés. Au cours de l'expérience menée internationalement sur l'interaction air-mer (JASIN), dans la région de Rockall, au nord-ouest du Royaume-Uni, de nombreuses mesures océanographiques et météorologiques à grande échelle ont été effectuées. Les estimations du flux thermique vertical et des paramètres du mélange vertical, réalisées grâce aux mesures de la microstructure relevées par l'OCTUPROBE, correspondaient aux résultats des études à grande échelle. Dans un autre cas, Osborn et Crawford, qui étudiaient le sous-courant du Pacifique équatorial, ont observé des niveaux de dissipation turbulente qui lui sont associés et qui étaient assez élevés pour équilibrer la force d'accélération du gradient de pression à l'origine du sous-courant. Il s'agit là d'une hypothèse intéressante : un flot océanique long de plusieurs milliers de kilomètres pourrait être régi par des processus opérant à des échelles de 1 cm!

Dans des travaux plus anciens, Batchelor (1959) jugeait que, si l'on pouvait mesurer entièrement les fluctuations du champ de température, on pourrait déduire la dissipation d'énergie à partir des plus petites échelles de fluctuation observées. Des techniques fondées sur ces arguments théoriques ont été exploitées vingt ans plus tard par Caldwell et Dillon, de l'Oregon State University, qui ont étudié des processus de mélange dans les lacs. En 1982, Oakey a montré que, au moins dans certaines circonstances limitées, les résultats obtenus par l'examen des fluctuations de la température étaient équivalents à ceux que donnaient les études sur la vitesse limite du régime turbulent.

La nécessité d'effectuer un grand nombre de mesures pour comprendre un processus intermittent a fait naître la génération actuelle de profileurs de la microstructure, mise au point depuis que la microinformatique offre une solution économique à l'enregistrement direct et à l'analyse des données. Les modèles les plus récents sont représentés par le profileur avancé de microstructure (AMP) mis au point par Gregg à l'Université de Washington, et par l'EPSONDE, de l'Institut océanographique de Bedford. Ces instruments ont été mis au point parallèlement et pré-

sentent de nombreuses similarités; nous allons décrire l'EPSONDE.

L'EPSONDE est d'apparence semblable à l'OCTUPROBE, et il est mouillé de la même manière, c'est-à-dire en chute libre avec câble de rappel. Cependant, la ligne de rappel est un câble de kevlar à quatre conducteurs, qui sert à transmettre les données à un ordinateur de bord à raison de 2 000 échantillons de données par seconde. Cette amélioration nous permet de « voir » en temps réel ce que nous mesurons en effectuant le traitement des données en direct sur ordinateur. L'appareil nous a permis d'opérer pendant de longues périodes sans avoir à récupérer les instruments, et de faire des mesures à de plus grandes profondeurs. Cette génération d'instruments contient aussi beaucoup plus de capteurs, notamment une sonde CTP, et nous explorons la possibilité d'en utiliser d'autres, notamment des capteurs de lumière et des fluoromètres destinés à des études biologiques particulières.

Les deux études décrites ci-dessous sont de bons exemples de la capacité des instruments dont disposent les chercheurs.

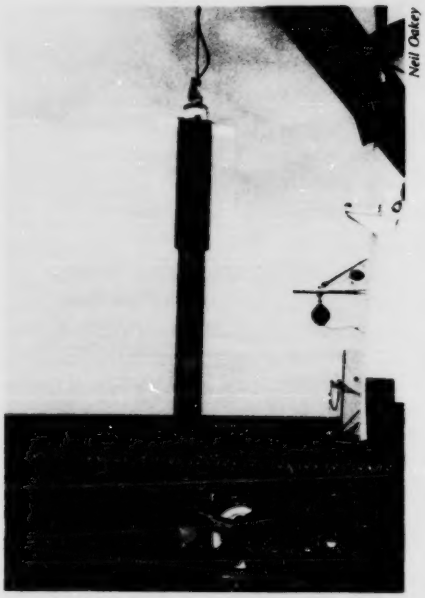


Fig. 1 : À bord du NSC HUDSON, mise à l'eau de l'EPSONDE pendant l'étude MEDDY, en juin 1985.

À l'automne de 1984, pendant l'expérience « Tropic Heat », un certain nombre de chercheurs, dont un groupe mené par Gregg, de l'Université de Washington, et utilisant l'AMP, ont procédé à un réexamen du mélange turbulent associé au sous-courant du Pacifique équatorial. Sur une période de trois semaines, nous avons obtenu plus de 1 700 profils jusqu'à une profondeur de 250 m, dans le sous-courant et à sa proximité (plus de 1,5 milliard de mots de données). Ces données montraient des niveaux de dissipation plus faibles que ceux qu'on avait observés auparavant, et une forte variation diurne dans l'intensité de la turbulence. Comme prévu, la turbulence était en rapport avec les zones de fort cisaillement dû à la vitesse du sous-courant.

Dans une autre expérience, Oakey a utilisé l'EPSONDE pour étudier une lentille d'eau salée méditerranéenne (MEDDY) dans le bassin des Canaries, afin de mesurer à quel rythme l'énergie est dissipée par les processus turbulents. Pour la première fois, un profileur câblé tombant en chute libre a été utilisé à des profondeurs de plus de 1 000 m. À la

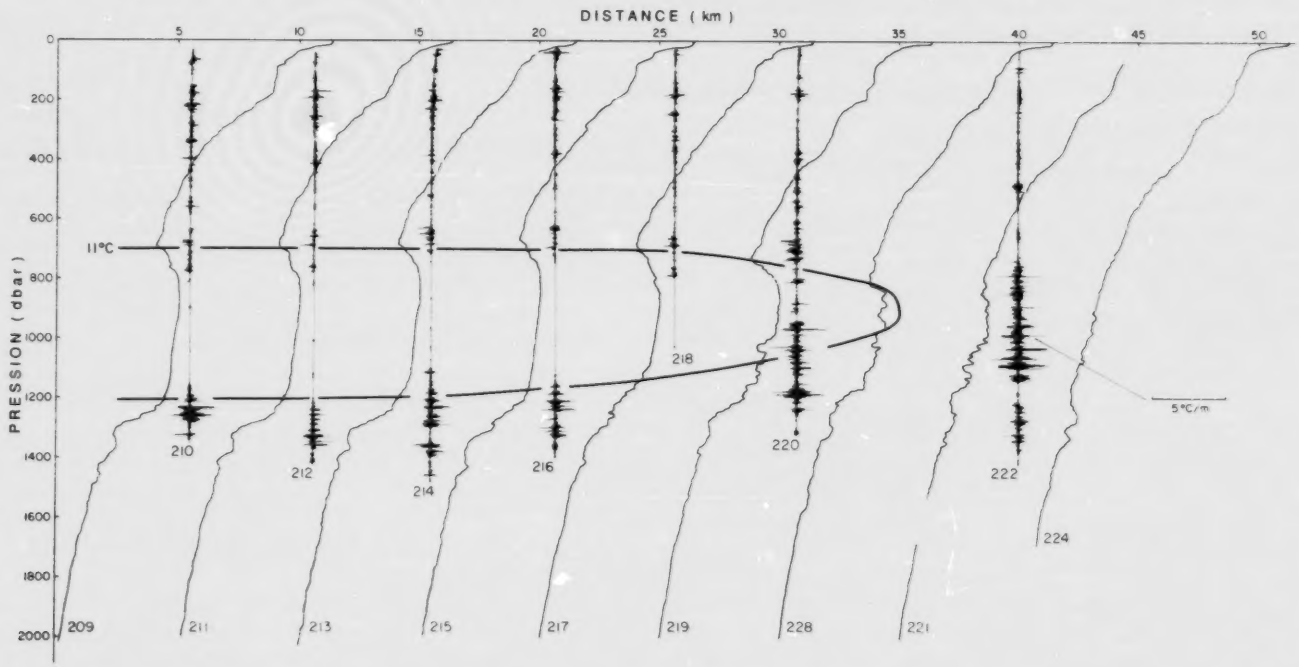


Fig. 2A : Coupe de la microstructure de la température dans une MEDDY, à l'aide de l'EPSONDE. Les profils lisses représentent la température, et les profils ondulants la microstructure de la température, tandis que la ligne grasse est la courbe isotherme de 11 °C qui représente la limite de la MEDDY.

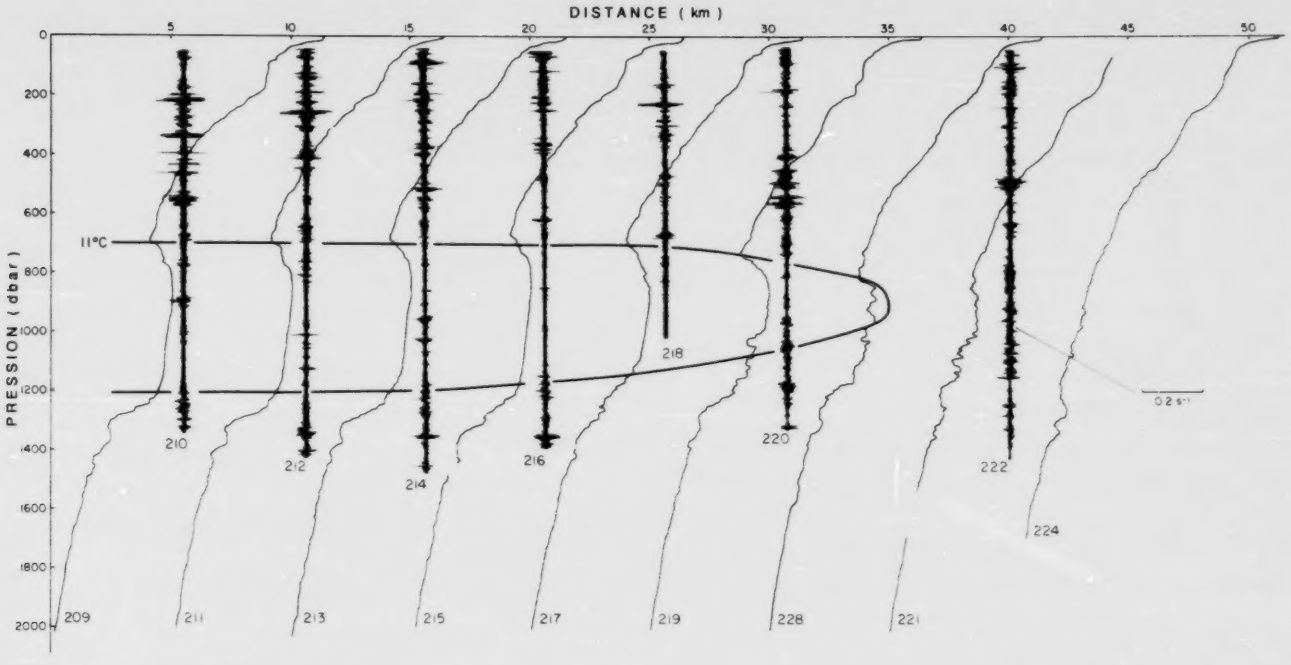


Fig. 2B : Coupe de la microstructure de la vitesse dans une MEDDY, mesurée avec l'EPSONDE. Dans ce cas, la ligne ondulante représente la microstructure de la vitesse et sert à calculer la dissipation d'énergie.

fig. 1, l'EPSONDE est mis à l'eau par le nsc *HUDSON* au cours de l'expérience. Grâce aux relevés à grande échelle couvrant une période de deux ans, nous savons à quel rythme cette MEDDY perd de l'énergie. La vitesse limite de régime turbulent et les fluctuations de la température associées apparaissent à la fig. 2, qui représente une coupe allant pratiquement du centre de la lentille jusqu'à sa périphérie. L'intensité du mélange est au maximum près de la périphérie. Il apparaît que la dissipation d'énergie à des échelles de l'ordre du centimètre contribue de façon importante à la dissipation d'ensemble de cette anomalie (100 km de diamètre).

Nous avons essayé non seulement de comprendre le rôle de la microstructure dans les processus de brassage physique de l'océan, mais aussi certaines de ses incidences sur la productivité biologique. Lors d'une étude réalisée dans le bassin de Bedford (Nouvelle-Écosse), nous avons de façon simultanée mesuré la productivité biologique et la dissipation pendant la poussée printanière. Nous avons observé une forte corrélation mais de signe contraire entre la productivité potentielle et la dissipation. Nous pensons que, plus le niveau de turbulence ou de dissipation sont forts, moins les cellules du phytoplancton sont aptes à la photosynthèse, car elles sont déplacées verticalement dans la colonne d'eau par la turbulence.

Lors d'une étude menée en juin 1985 dans le bassin des Canaries, les chercheurs ont effectué grâce à l'EPSONDE des mesures de la dissipation qui ont servi à déterminer la diffusivité turbulente verticale et le flux vertical de nitrate correspondant. En même temps, on quantifiait le flux d'azote en mesurant l'absorption biologique d'azote. Le gaz carbonique provenant de l'atmosphère est incorporé à l'azote dans l'océan par la photosynthèse; il peut donc être limité par le flux de nitrate. Les mesures physiques et biologiques de la production effectuées au cours de cette expérience concordaient pour l'essentiel, et montraient que cette région océanique (représentative à cet égard de 75% de l'océan mondial) est peut-être beaucoup moins capable qu'on ne le pensait d'utiliser le gaz carbonique de l'atmosphère. Cela pourrait avoir des incidences sur la capacité de l'océan à drainer les émissions de gaz carbonique à l'échelle du monde.

En conclusion, je soulignerai que les 25 dernières années ont joué un rôle important dans notre compréhension des processus de mélange à petite échelle dans l'océan. J'ai signalé certaines recherches menées dans ce domaine, qui ne sont pas nécessairement les plus importantes. Nous avons mis au point des instruments et des capteurs nouveaux, et utilisé la technologie de pointe pour étudier ces processus intermittents. Nous avons préparé et exécuté des expériences, qui, lentement, nous donnent une image plus claire du mélange turbulent dans le cadre des processus à grande échelle des océans.

Références

BATCHELOR, G.K. 1959. Small-scale variation in convected quantities like temperature in a turbulent fluid. *Journal of Fluid Mechanics, 5:* 113-133.

CRAWFORD, W.R. et OSBORN, T.R. 1981. Control of the equatorial ocean currents by turbulent diffusion. Science 212: 539-540.

DILLON, T.M. et CALDWELL, D.R. 1980. The Batchelor spectrum and dissipation in the upper ocean. Journal of Geophysical Research, 85: 1910-1916.

ELLIOT, J.A. et OAKEY, N.S. 1979. Average microstructure levels and vertical diffusion for phase III of GATE. Deep-Sea Research, 26 (Supplement 1): 273-294.

GRANT, H.L., STEWART, R.W. et MOILLET, A. 1962. Turbulence spectra from a tidal channel. Journal of Fluid Mechanics 12: 241-268.

GREGGS, M.C., PETERS, H., WESSON, J.C., OAKEY, N.S. et SHAY, T. 1985. Intensive measurements of turbulence and shear in the equatorial undercurrent. Nature 311: 140-144.

LEWIS, M.R., HORNE, E.P.W., CULLEN, J.J., OAKEY, N.S. et PLATT, T. 1984. Turbulent motions may control phytoplankton photosynthesis in the upper ocean. Nature 311: 49-50.

LEWIS, M.R., HARRISON, W.G.., OAKEY, N.S., HEBERT, D., et PLATT, T. 1986. Vertical nitrate flux in the oligotrophic ocean. Nature 234: 789-912.

OAKEY, N.S. 1982. Determination of the rate of dissipation of turbulent energy from simultaneous temperature and velocity shear measurements. Journal of Physical Oceanography 12: 256-271.

OAKEY, N.S. 1982. Statistics of mixing parameters in the upper ocean during JASIN phase 2. Journal of Physical Oceanography 15(12): 1662-1675.

OAKEY, N.S. et ELLIOT, J.A. 1980. The variability of temperature gradient microstructure observed in the Denmark Strait. Journal of Geophysical Research 85(4): 1934-1944.

OAKEY, N.S. et ELLIOT, J.A. 1982. Dissipation within the surface mixed layer. Journal of Geophysical Oceanography 12(2): 171-185.

OSBORN, T.R. et COX, C.S. 1972. Oceanic fine-structure Geophysical Fluid Dynamics 3: 321-345.

OSBORN, T.R. et SIDDON, T.E. 1975. Oceanic shear measurements using an airfiole probe. *In* Proceedings of the third Biennal Symposium on Turbulence in Liquids; *Eds.* G.K. Patterson, et J.L. Zaken, University of Missouri-Rolla.

Processus en oeuvre sur le rebord du plateau continental

Peter C. Smith et Helmut Sandström

Peter Smith

LES brusques changements de profondeur qui caractérisent les accores des plateaux continentaux ont d'importantes et intéressantes conséquences dans l'océan lui-même : les talus abrupts guident les courants à basse fréquence le long des isobathes; ils réfractent, renvoient et dispersent divers mouvements ondulatoires; ils favorisent la remontée des eaux profondes sur le plateau continental (upwelling). À la bordure occidentale des grands bassins océaniques, les forts courants qui suivent le continent, comme le Gulf Stream ou le Kuroshio, émettent une énergie à basse fréquence qui a une influence sur la marge continentale mais la traverse rarement à cause des contraintes de vorticité liées à la réduction de profondeur.

Les autres sources importantes d'énergie liées aux phénomènes des accores sont la marée barotrope (de surface) et la tension du vent en surface. De plus, la capacité thermique réduite de l'eau peu profonde de la plate-forme par rapport aux grands fonds, et l'apport d'eau douce sur la plate-forme peuvent entraîner des contrastes marqués entre les masses d'eau côtières et océaniques aux accores. Ces forts gradients, combinés à des processus énergétiques augmentent généralement le brassage et la productivité biologique. Au large de la côte sud-est des États-Unis, par exemple, la remontée d'eaux profondes sur le talus, causée par le vent et l'activité turbulente le long de la limite continentale du Gulf Stream, est considérée comme la principale source de nutriments pour l'écosystème du plateau (Atkinson *et al.* 1982). De même, Fournier *et al.*, (1977) indiquent que les processus en oeuvre aux accores seraient responsables des maximums observés de production biologique et de biomasse à la bordure du plateau Scotian. Même en l'absence de forçage dû à de forts courants du large, comme c'est le cas sur le plateau de l'Europe du Nord-Ouest, l'activité turbulente associée au front du rebord peut occasionner de forts taux de mélange en travers du plateau (Pingree, 1979) tandis que le brassage vertical dû aux ondes internes injecte des nutriments dans la zone euphotique.

Dans les sections qui suivent, nous examinerons les travaux portant sur trois catégories de processus : a) l'interaction des courants du large et des tourbillons avec la topographie de la marge continentale; b) l'*upwelling* dû aux vents à la bordure du plateau continental; et c) la production de marées internes et d'ondes non linéaires par la marée de surface M2.

Hal Sandström

Chaque section décrira brièvement le développement historique des connaissances de chaque phénomène. En ce qui concerne les processus au bord du plateau continental, comme dans de nombreux secteurs de la recherche océanographique, les progrès ne furent pas réguliers, mais par à-coups. La combinaison de nombreux facteurs, comme l'évolution technologique et l'apparition de nouvelles idées, établit les conditions d'un progrès rapide qui est suivi par des périodes plus calmes où les idées prennent corps. Durant les deux dernières décennies les processus des accores ont suscité à l'échelle mondiale, un intérêt qui s'est manifesté par des travaux de recherche intensifs. L'Institut a apporté une contribution notable dans ce domaine.

Interactions des tourbillons avec la marge continentale

Les mouvements tourbillonnaires à basse fréquence qui se produisent près

des accores du plateau continental peuvent tirer leur énergie de nombreuses sources. Petrie (1983) explique par l'interaction de flots temporaires dus aux vents et de la présence de hauts-fonds les courants anomaux qui apparaissent à l'extérieur du plateau Scotian, tandis que Pingree (1979) attribue les tourbillons barocliniques qui bordent la mer Celte à l'instabilité hydrodynamique d'un front de rebord du plateau. Cependant, dans la partie occidentale des bassins océaniques, la source plus vraisemblable en est les forts courants limitrophes orientés vers l'ouest. Lorsqu'un courant de ce type suit le rebord du plateau, comme le fait le Gulf Stream dans le golfe sud-atlantique sur la côte américaine (SAB), le forçage se manifeste directement sous forme de « tourbillons frontaux » à la bordure continentale du courant et qui s'étendent dans les eaux peu profondes. Par ailleurs, lorsque le courant s'écoule plus loin au large, comme le fait le Gulf Stream au nord du cap Hatteras, le forçage est indirect et se manifeste par des méandres à grande échelle et des anneaux à noyau chaud qui se détachent de l'axe du courant (voir fig. 1). Ces phénomènes, qui accumulent une grande quantité d'énergie potentielle dans leur champ de masse, peuvent émettre des ondes à basse fréquence, connues sous le nom d'ondes topographiques de Rossby, qui remontent le long du glacis et du talus continental jusqu'aux accores du plateau. Nous allons maintenant décrire la façon dont se sont développées les idées sur ces deux modes différents de forçage produits par les courants du large sur le rebord du plateau.

Fig. 1 Image satellitaire dans l'infrarouge montrant un anneau à noyau chaud formé par le Gulf Stream (en sombre) et les eaux superficielles du plateau, plus froides (en clair).

C'est à la fin du XVIième siècle que les journaux de bord des navires signalent pour la première fois la présence de courants turbulents dans le golfe sud-atlantique (Brooks et Bane, 1981). Les premières mesures des vitesses et des températures dans les couches superficielles du Gulf Stream ont été réalisées par Webster (1961), qui a décrit les méandres présents devant la baie Onslow comme des oscillations obliques, semblables à des vagues, présentant une période de 4 à 7 jours. Les observations de Webster, effectuées avec un bathythermographe (pour la température) et une batterie d'électrodes remorquées, constituant l'enregistreur GEK (pour le courant), ont été considérablement enrichies par les moyens modernes de mesure comme les courantomètres mouillés, la sonde CTP (conductivité, température, profondeur) et les thermomètres à rayonnement portés par les satellites ou les aéronefs. Faisant la synthèse des résultats obtenus grâce à de grands programmes d'étude menés au large de la Floride et des Carolines, Lee *et al.* (1981) et Bane *et al.* (1981) ont décrit la circulation de « tourbillons frontaux » : ces tourbillons lancent à partir du Gulf Stream des langues d'eau chaude et salée qui se replient le long de la bordure continentale du courant pour enfermer un noyau d'eaux riches remontant du fond. Sur des échelles transversales de 10 km, les tourbillons s'amplifient en se propageant vers le nord (à une vitesse moyenne de 40 km/jour), le maximum de croissance se situant juste au nord de la « bosse de Charleston », irrégularité topographique localisée qui détourne le Gulf Stream vers le large. Brookes et Bane (1981) ont montré que les fluctuations des tourbillons ne sont pas liées aux vents ni au niveau de la mer sur la côte, ce qui semble indiquer que l'énergie provient de l'instabilité hydrodynamique du front du Gulf Stream. Les transformations observées et les résultats récents obtenus par modélisation indiquent que la première source en est l'énergie potentielle du courant (c.-à-d. l'instabilité baroclinique) et que la perte de l'effet stabilisateur de la topographie des accores cause l'augmentation de la vitesse de croissance au nord de la bosse de Charleston (p. ex. Dewar et Bane, 1985).

Lorsqu'au cap Hatteras, le Gulf Stream s'éloigne de la marge continentale, le mode dominant d'instabilité de type courant-jet laisse place à des

méandres à plus grande échelle et à basse fréquence sur l'ensemble du courant. Ces méandres s'amplifient souvent et se détachent pour former des anneaux à noyau froid et à noyau chaud, qui apparaissent respectivement du côté sud et du côté nord du courant (fig. 1). C'est Jonathan Williams, petit-neveu de Benjamin Franklin, qui, en 1790, a observé pour la première fois les anneaux à noyau chaud. Dans les années 1930, Iselin (1936) a fait de nombreuses observations hydrographiques de tels anneaux isolés, mais c'est seulement dans les années 50 qu'on a observé leur formation à partir de la croissance d'un méandre (Fuglister et Worthington, 1951). L'influence des anneaux et des méandres sur les eaux côtières du plateau Scotian a été relevée par McLellan *et al.*, (1953), qui a signalé que la limite étroite séparant l'eau de plate-forme de l'eau de pente s'étendait de façon non systématique jusqu'à 250 km au sud d'Halifax. Plus près de nous, des chercheurs de l'Institut ont décrit la façon dont les langues d'eau du plateau Scotian peuvent être attirées vers le large par les anneaux à noyau chaud qui s'approchent du plateau continental, et ont calculé que ces échanges à grande échelle, au rythme observé de six par an, ont un effet important sur les bilans de chaleur, de salinité et de nutriments des eaux de plate-forme (Smith, 1978). En fait, en utilisant un simple modèle de boîte, Houghton *et al.* (1978) ont montré que les flux à basse fréquence mesurés à la bordure du plateau Scotian peuvent justifier les gradients de température et de salinité observés le long de la côte et satisfaire les exigences biologiques en azote, nutriment qui est le plus important pour la production primaire sur le plateau (Fournier *et al.*, 1977).

Dans les couches plus profondes, la circulation des anneaux à noyau chaud dans le sens des aiguilles d'une montre, interférant avec les hauts-fonds du glacis continental, produit des ondes topographiques de Rossby, génératrices d'énergies. Les propriétés des ondes de Rossby, ondes linéaires exemptes de viscosité, ont été étudiées de façon théorique par Rhines (1970) puis confirmées par une série de mesures à long terme effectuées au courantomètre sur le glacis continental de la Nouvelle-Angleterre (Thompson, 1977). Des théories ont aussi été élaborées pour expliquer la transmission et la réflexion de l'énergie des ondes de Rossby sur le glacis et la pente continentale, qui sont abrupts (p. ex. Kroll et Niiler, 1976) et la dispersion d'une partie de cette énergie sous forme d'ondes barocliniques associées (*fringe modes*) lorsque se produit un changement brutal de topographie comme c'est le cas pour les accores du plateau (Ou et Beardsley, 1980).

Bien que ces modèles simples prennent pour hypothèse que la source d'énergie des ondes de Rossby est le Gulf Stream, ce n'est qu'en 1976-1977

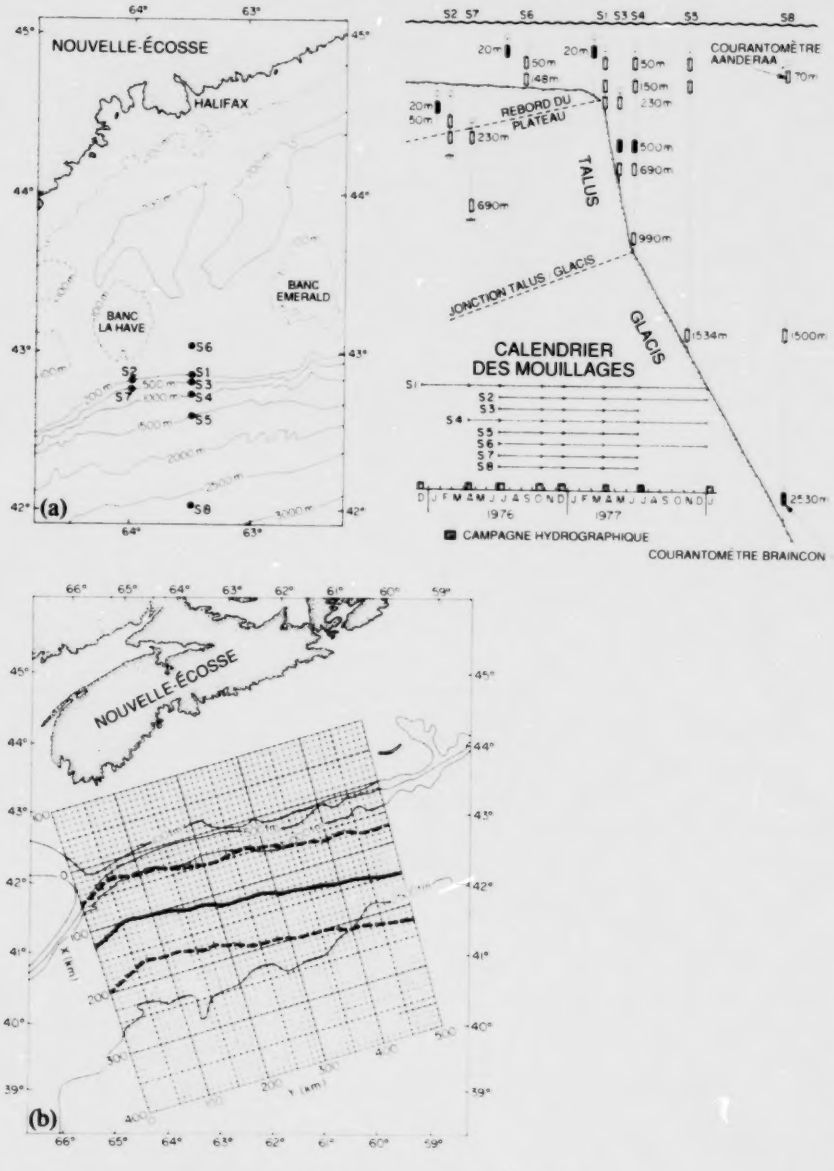


Fig. 2 a,b Réseaux de surveillance de l'expérience du rebord du plateau. a) Disposition des mouillages et calendrier. b) Quadrillage de 10 x 10 km utilisé pour numériser la position de la limite de l'eau de plateforme et de l'eau de pente et des anneaux du Gulf Stream, de janvier 1975 à février 1978. La ligne grasse représente la position moyenne et la ligne discontinue l'écart-type de cette limite pendant la durée de l'expérience.

que le mécanisme de production a été mis en évidence au cours d'une expérience réalisée par des scientifiques de l'Institut à la bordure du plateau, au sud d'Halifax. Cette expérience nécessitait, entre autres, une batterie de onze mouillages repartis sur huit sites (fig. 2a) et une série d'analyses hebdomadaires frontales (du fond à la surface), à partir d'images satellitaires dans l'infrarouge, numérisées sur une grille de 10 x 10 km orientée dans le sens du rebord du plateau (fig. 2b). Entre juillet et octobre 1976, les relevés du courant, effectués près du fond, suivant la côte (fig. 3) ont révélé une bouffée d'énergie d'onde topographique dont la période augmentait graduellement; la phase se propageait vers le large (en concordance avec le flux d'énergie vers la côte; Louis *et al.*, 1982). Louis et Smith (1982) ont alors formulé un modèle initial dans lequel se produisait une perturbation circulaire isolée à caractère de vortex, sur le glacis du plateau Scotian. Ils expliquent ainsi à la fois les variations de la période des vagues (fig. 4a) et celles de leur amplitude (fig. 4b). En conséquence, ils purent fixer la date d'apparition du paquet d'ondes à la 27e semaine de 1976. A ce moment, en effet, les analyses ont montré qu'un anneau à noyau chaud, appelé Eddy 1, se formait à 200 km au sud du mouillage (fig. 5); la dimension du vortex au-dessous de l'anneau était estimée à 70 km. De plus, l'analyse du flux d'énergie à trois dimensions de l'onde de Rossby au-dessus d'une topographie réaliste indiquait que la force des oscillations du courant à basse fréquence sur le rebord du plateau subissait, comme une sorte de concurrence, les effets amplificateurs des hauts-fonds et de la réfraction d'une part, et d'autre part la dispersion radiale et décélératrice de l'énergie. Toutefois, en tenant compte d'estimations raisonnables de la dissipation de l'énergie par frottement sur le fond, on prévoyait que l'onde énergétique qui atteint le rebord du plateau, devait s'affaiblir sur une échelle de 100 km le long de la côte, tel qu'en fait se localisent les perturbations causées par l'anneau à noyau chaud (Smith, 1983).

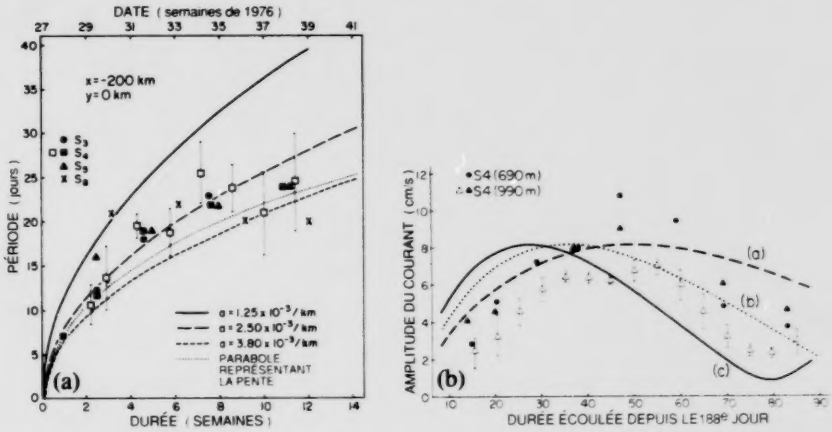


Fig. 4 a) Période de l'onde observée (symboles) et modélisée (courbes) en fonction du temps pour les oscillations situées topographiquement au nord (200 km) de la perturbation initiale. Les courbes correspondent à diverses définitions de la topographie modélisée. b) Variations de l'amplitude observées (symboles) et modélisées (courbes) des ondes au mouillage S4. L'ajustement du modèle est le meilleur pour une perturbation initiale ayant un diamètre de 70 km (courbe pointillée)

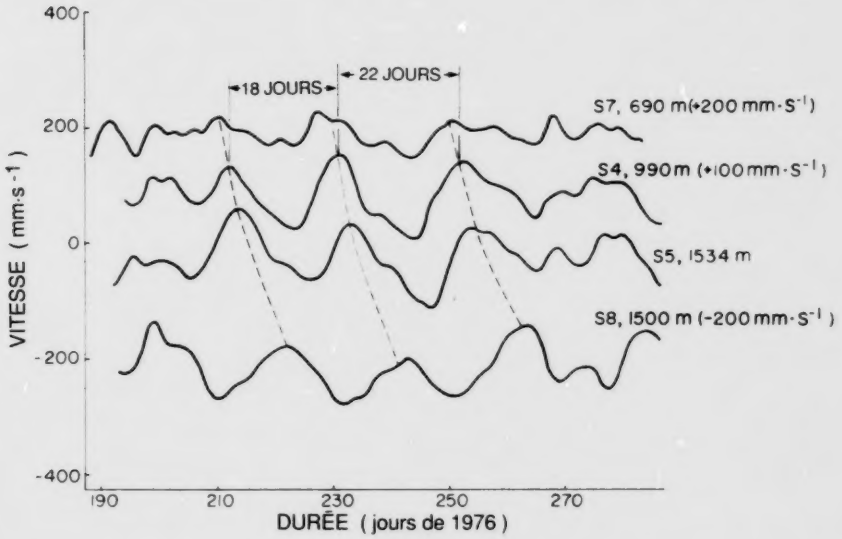


Fig. 3 Enregistrements avec filtre passe-bas du courant littoral (orienté vers l'est) aux mouillages profonds dans la zone océanique entre juillet et octobre 1976. Les lignes discontinues indiquent la propagation au large, et les variations de période apparaissent pour l'enregistrement S4.

Touchant l'influence des ondes de Rossby sur la circulation au-dessus du plateau continental, Garrett (1979) a montré que les forts courants qu'elles provoquent sur le rebord suscitent un *upwelling* par le biais de la couche de fond d'Ekman, processus qui peut contribuer à l'accroissement des flux en travers du plateau à basse fréquence. Cependant, le vent littoral peut aussi efficacement produire un *upwelling* au rebord du plateau à des fréquences quelque peu supérieures.

Upwelling causé par le vent

Sur une grande plate-forme continentale (c.-à-d. beaucoup plus large que l'échelle typique d'ajustement baroclinique d'environ 10 km), la réaction au forçage du vent littoral se manifeste à

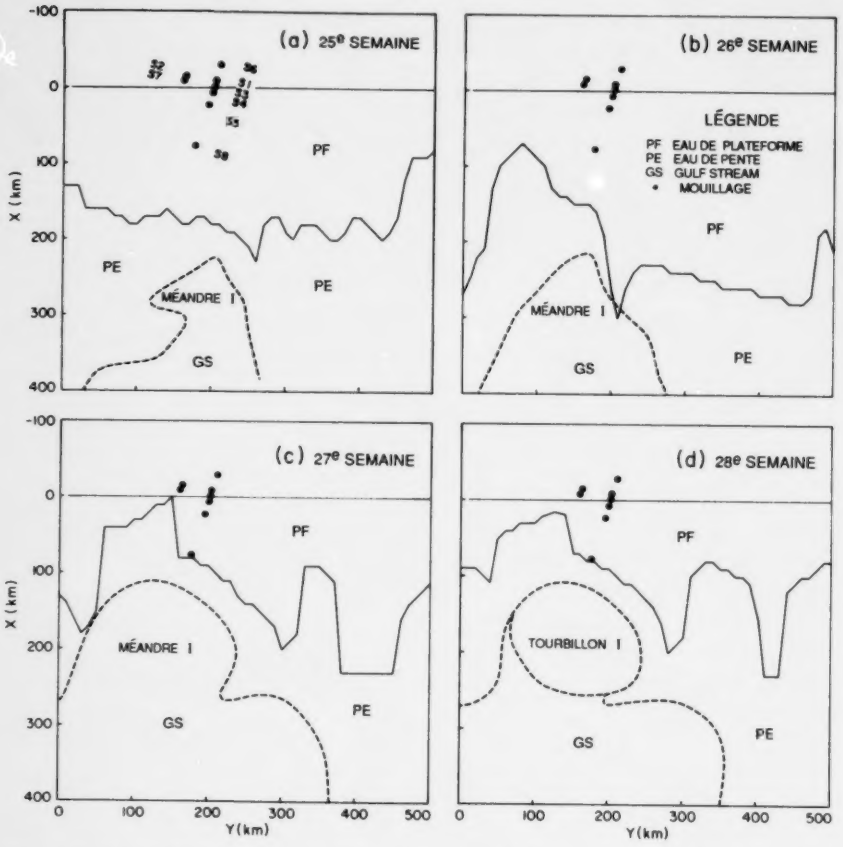


Fig. 5a-d. Analyse frontale de la température à la surface de la mer, montrant la limite entre l'eau de plateforme et l'eau de pente (ligne continue) et « le mur » nord du Gulf Stream (ligne discontinue) sur un quadrillage dont un axe coïncide à peu près avec le rebord du plateau, fig. 2b. Les diagrammes a) à d) illustrent la formation et le développement du tourbillon I entre la 25ème et la 28 ème semaine de 1976.

la fois sur la côte et au voisinage d'accidents topographiques marqués sur la pente du fond, notamment aux accores. Depuis le début des années 1970, de nombreux travaux théoriques et expérimentaux ont porté sur le phénomène de l'*upwelling* côtier, et plus particulièrement sur les plates-formes étroites des côtes occidentales de l'Amérique du Nord et du Sud, là où confluent les réactions au rebord du plateau et au littoral. Il reste toutefois de graves lacunes à combler dans les études théoriques et surtout dans les observations de l'*upwelling* causé par le vent aux accores du plateau continental (Huthnance, 1981).

À l'aide d'un simple modèle bidimensionnel étagé, Huthnance (1981) a démontré que la remontée d'eau aux accores du plateau continental est causée par une divergence de l'icoubment du flot de surface vers le large, proportionnelle à la grande différence de profondeur entre le plateau et l'océan, ainsi qu'à l'ampleur du forçage. Avec un modèle similaire à deux épaisseurs, Csanady (1973) a montré que le courant-jet causé par le vent le long du rebord du plateau était fonction de la configuration de la pente du fond et de la stratification. Janowitz et Pietrafesa (1980) ont aussi formulé un modèle pour les remontées temporaires, qui comporte à la fois frottement sur le fond et faible stratification. Les résultats indiquent que des accidents assez marqués sur la pente du fond au rebord du plateau produisent un gonflement persistant des persistant des isopycnes. Il s'en- suit un isopycnes. Il s'ensuit un cisaillement vertical dans le courant littoral conforme à la dynamique géostrophique. En outre, la force et l'occurrence de la circulation dans le modèle concordent raisonnablement avec les mesures effectuées dans le golfe sud-atlantique, où l'on pense que l'*upwelling* estival causé par le vent apporte une quantité importante de nutriments dans cette zone moyenne de la plate-forme (Atkinson *et al.*, 1982).

Sur le plateau Scotian, les premières observations hydrographiques (p: ex. McLennan *et al.*, 1953; Hachey, 1953) indiquaient que le golfe Scotian, qui se trouve entre les bancs Emerald et LaHave, au sud d'Halifax, est propice aux intrusions d'eau de pente poussée par le vent. Petrie et Smith (1977) ont suggéré que cela suffisait à chasser les eaux profondes du bassin Emerald pendant l'automne et l'hiver. Plus récemment, Petrie (1983) travaillant sur les données recueillies pendant l'expérience du rebord du plateau continental menée par l'Institut (fig. 2), a montré que les vents littoraux modérés (10-20 m/s) qui persistent pendant au moins deux jours produisent au rebord du plateau une remontée d'eau provenant de profondeurs de 400 m ou plus sur le talus continental. Les vitesses verticales maximales sont de l'ordre de 2 mm/s, et l'*upwelling* semble confiné à une distance de moins de 10 km du talus. De plus, le gradient vertical de cisaillement du courant littoral et le gradient horizontal de densité au rebord du plateau se sont révélés être en équilibre géostrophique. Cependant, sur le plateau, de grands courants de fond anomaux présentant des maximums de près de 1 m/s (fig. 6) ont été attribués à des variations locales de la topographie des bancs océaniques. De plus, les essais de reproductions des champs de courants temporaires à l'aide de modèles bidimensionnels analytiques et numériques ont échoué aussi bien quantitativement que qualitativement. Les mesures réalisées par l'Institut aux accores du plateau continental révèlent donc le caractère particulier de ce processus important et montrent aussi que la recherche doit s'engager vers l'étude tridimensionnelle de l'effet du vent sur les eaux qui

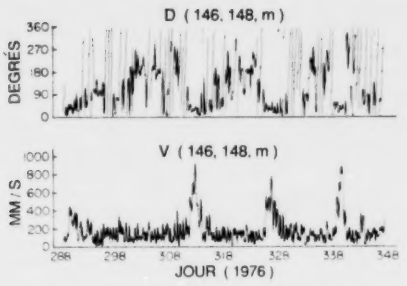


Fig. 6 Série chronologique de la direction et de la vitesse au mouillage S6, par 148 m, entre octobre et décembre 1976.

couvrent la topographie complexe du plateau Scotian.

Marée interne et ondes non linéaires

Les flux de nutriments à basse fréquence, orientés vers la côte, qui se concentrent à partir des eaux moyennes vers le fond à la bordure du plateau, suscitent une question : comment ces flux atteignent-ils la zone euphotique à la surface? Une explication pourrait venir du mélange vertical causé par les ondes internes.

La découverte des ondes internes remonte au début de ce siècle. Le développement rapide de l'océanographie par la mise au point de nouvelles techniques et d'instruments nouveaux (p. ex. le courantomètre Ekman), était mené par des chercheurs scandinaves : ils voulaient savoir pourquoi l'afflux de nourriture des poissons subissait de si grandes variations. Nansen (1902) a été le premier à observer des ondes internes dans l'océan, mais il a fallu les calculs à partir de modèles d'Ekman (1904) pour qu'on les identifie. De nombreuses autres observations d'ondes internes ont suivi, et Fjeldstad (1933) a élargi la théorie dynamique en dépassant les premiers modèles en discontinu pour passer à l'étude d'un fluide à stratification continue.

En 1960, malgré le grand nombre d'écrits sur les ondes internes, on savait encore peu de choses sur leur apparition et leur répartition dans l'océan. C'est alors que Rattray (1960) a utilisé un modèle simple, étagé, à deux couches pour démontrer le couplage entre la marée de surface et la marée interne. En 1962, Cox et Sandström (ce dernier était en congé d'études de l'IOB qui n'était pas encore ouvert) on calculé le taux du flux d'énergie passant de la surface aux marées internes par dispersion due à la rugosité du fond dans un océan à stratification continue. Cette étude est devenue la pierre angulaire de la recherche sur les marées internes dans les profondeurs. Le début des années 60 a vu aussi les premières applications aux problèmes océanographiques de *l'optical ray thèory* où les rayons représentent les directions de propagation des ondes (p. ex. Sandström, 1966). Cette technique a constitué la base de nombreuses recherches importantes sur l'interaction entre la marée de surface et la marée interne, notamment celles de Baines (1974) et de Prinsenberg (de l'IOB) et Rattray (1975). Selon le modèle de Baines, la transformation de l'énergie est la plus efficace lorsque la pente locale de la topographie est égale à la pente du rayon de la marée interne. Cette condition est généralement remplie à la bordure du plateau continental.

À l'IOB, les travaux sur les marées internes menés dans les années soixante-dix ont tiré profit des progrès théoriques et de l'apparition de nouveaux instruments pendant les années soixante. Ainsi, Warner (1970) et Petrie (1975) ont tous deux analysé des mesures des courants et de la température effectuées avec des instruments mouillés sur le plateau Scotian et son talus. Petrie, en particulier, a démontré que les intersections des rayons critiques émis au rebord du plateau avec les mouillages correspondaient à la structure observée de la marée interne M2 (fig. 7). De plus, Sangström (1976) a formulé une théorie unifiée permettant d'appliquer les lois de l'origine topographique des marées internes aux variations dans la stratification et le profil du fond. Parmi les autres études menées à l'Institut, on note l'examen de la variabilité hydrographique dans l'estuaire du Saint-Laurent, par Forrester (1973) qui a éclaici le rôle des ondes internes produites à l'entrée du chenal Laurentien.

Au cours de la présente décennie, la recherche sur les ondes internes a été stimulée par deux facteurs : tout d'abord, le fait que les ondes internes causent ou accentuent les modifications de la

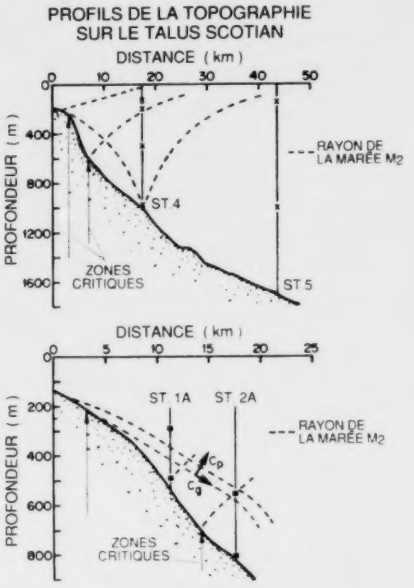


Fig. 7 Profils de la topographie sur le talus du plateau Scotian, avec la position des mouillages 4, 5, 1A et 2A. Les flèches indiquent les zones critiques (c = s) sur le talus à pres de 200 et 600 m (d'après Petrie 1975).

microstructure liées au mélange océanique; deuxièmement, la découverte d'ondes internes courtes à amplitude finie (solitons, ondes à front raide), qui sont dans une certaine mesure en rapport avec la marée interne. Des groupes de ces ondes à courte période (p. ex. 10 min) ont été détectés à de nombreux points dans certaines phases de la marée M2, généralement au moment de mesures de la température p. ex. dans le détroit de Gibraltar par Ziegenbein (1969); dans la baie du Massachusetts par Haury *et al.* (1979); dans les fjords de Colombie-Britannique par Farmer et Smith (1980) et, plus récemment, sur les plateaux continentaux du nord de l'Europe par Pingree et Mardel (1985), qui soulignent leur importance biologique. Ces études ont tiré un grand profit du développement des techniques de télédétection qui permettent d'étudier l'océan à partir d'instruments portés par des satellites, des aéronefs et des navires.

En 1980, les chercheurs de l'Institut ont lancé une étude de plusieurs années sur les relations entre les marées, la turbulence et le mélange océanique à la bor-

dure du plateau Scotian, afin de comprendre pourquoi les concentrations de nutriments et la productivité biologique sont si élevées dans la zone euphotique. De plus, des observations réalisées tout le long du plateau Scotian et des Bancs de Terre-Neuve avaient pour objet de cartographier l'occurrence et la nature des ondes à grande amplitude, et cette information a été transmise à l'industrie océanologique qui s'intéresse à leurs effets potentiellement nuisibles (p. ex. les poussées de courant). Parallèlement aux travaux sur le terrain, les études théoriques sur les liens entre la marée interne et le brassage océanique se poursuivent. Une bonne partie des progrès récemment réalisés dans ce domaine sont dus au BATFISH, « poisson » remorqué à mouvement ondulant qui a été mis au point à l'Institut (Dessureault, 1976) pour relever les propriétés hydrographiques dans la couche superficielle (fig. 8). Les dispositifs de sondage acoustique à monofréquence ou à multifréquence ont aussi fourni des images à haute résolution des ondes internes courtes sur le rebord du plateau (fig. 9), tandis que des sondes de turbulence à prélèvement rapide (Oakey, 1983) servent à quantifier la microstructure océanique et les taux de dissipation.

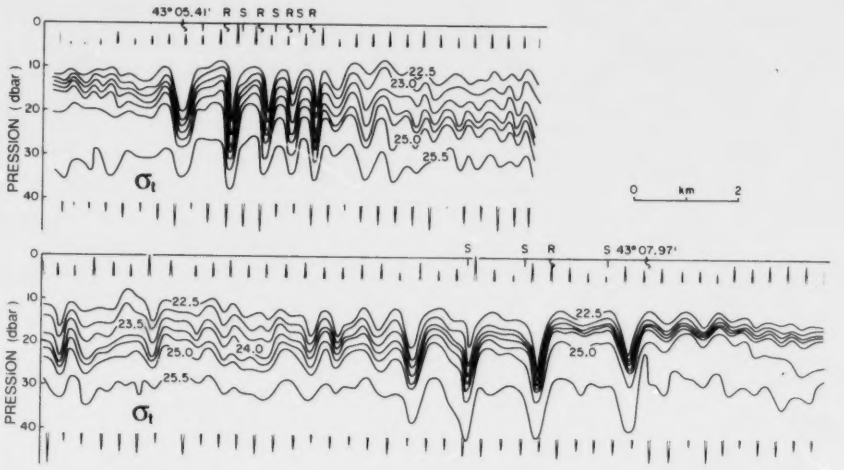


Fig. 8 Champ de densité observé par le BATFISH pour deux passages consécutifs d'un court paquet d'ondes internes: en haut — l'appareil et les ondes se déplacent en direction opposée; en bas — l'appareil double les ondes. Une structure en bandes observée à la surface est marquée ainsi: R = rugueuse et S = lisse.

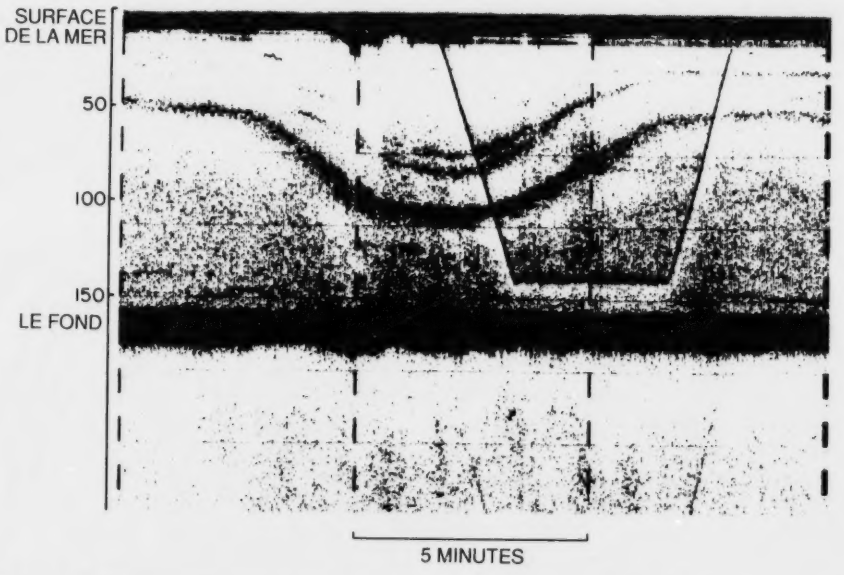


Fig. 9 Représentation interne de la plate formee vue par l'échosondeur à 12 k_H2. Le "vase" identifie les donnés reçues à lastation 45.

Conclusion

Nous avons décrit les progrès réalisés dans la compréhension de trois processus physiques distincts observés aux accores du plateau continental, progrès auxquels les chercheurs de l'IOB ont nettement contribué. Le forçage à basse fréquence de la circulation sur le rebord du plateau dans le golfe sud-atlantique, forçage causé par de forts courants limitrophes orientés vers l'ouest et par des tourbillons à échelle moyenne là où le Gulf Stream lui-même trace des méandres jusque sur le plateau continental, a été comparé à ce qui existe sur le plateau Scotian, où des anneaux intermédiaires à noyau chaud émettent des ondes topographiques de Rossby à basse fréquence vers les accores et favorisent le mélange à la limite entre l'eau de plate-forme et l'eau de pente. Les chercheurs ont aussi montré que l'*upwelling* causé par le vent à la limite du plateau Scotian provoque des courants de fond exceptionnellement forts qui sont causés par la topographie complexe des bancs océaniques. Enfin, l'avancement de nos connaissances sur la marée interne et les ondes internes à grande amplitude au rebord du plateau nous permet de mieux comprendre le mélange océanique lié à la productivité biologique sur le plateau continental.

Références

ATKINSON, L.P., PIETRAFESA, L.J., et HOFMANN, E.E. 1982. An evaluation of nutrient sources to Onslow Bay, North Carolina. *Journal of Marine Research* 40: 679-699.

BAINES, P.G. 1974. The generation of internal tides over steep continental slopes. Philosophical Transactions of the Royal Society A 277: 27-58.

BANE, J.M., BROOKS, D.A., et LORENSEN, K.R. 1981. Synoptic observations of the three-

dimensional structure, propagation and evolution of Gulf Stream meanders along the Carolina continental margin. *Journal of Geophysical Research* 86: 6411-6425.

BROOKS, D. et BANE J.M. 1981. Gulf Stream fluctuations and meanders over the Onslow Bay upper continental slope. *Journal of Physical Oceanography* 11: 247-256.

COX, C.S. et SANDSTROM, H. 1962. Coupling of internal and surface waves in water of variable depth. *Journal of the Oceanography Society of Japan, 20th Anniversary Volume*: 419-513.

CSANADY, G.T. 1973. Wind-induced baroclinic motions at the edge of the continental shelf. *Journal of Physical Oceanography* 3: 274-279.

DESSUREAULT, J.-G. 1976. "Batfish": A depth controllable towed body for collecting oceanography data. *Oceanographic Engineering* 3: 99-111.

DEWAR, W.K. et BANE, J.M., 1985. Subsurface energetics of the Gulf Stream near the Charleston bump. *Journal of Physical Oceanography* 15: 1771-1789.

EKMAN, V.W. 1904. On dead water. *Norvegian North Polar Expedition of 1893-1896, Science Results* 5(15): 152 p.

FARMER, D.M. et SMITH, J.D. 1980. Tidal interaction of stratified flow with a sill in Knight Inlet. Deep-Sea Research 27: 239-254.

FJELDSTAD, J.E. 1933. Interne Wellen. *Geofysiske Publikasjoner* 10(6): 35 p.

FORRESTER, W.D. 1973. Internal tides in the St. Lawrence Estuary. *Journal of Marine Research* 32: 55-66.

FOURNIER, R.O., MARRA, J., BOHRER, R. et VAN DET M. 1977. Plankton dynamics and nutrient enrichement of the Scotian Shelf;. *Journal de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada* 34: 1004-1018.

FUGLISTER, F.C. et WORTHINGTON, L.V. 1951. Some results of a multiple ship survey of the Gulf Stream. *Tellus* 3: 1-14.

GARRETT, C. 1979. Topographic waves off East Australia: Identification and role in shelf circulation. *Journal of Physical oceanography* 9: 244-253.

HACHEY, H.B. 1953. A winter incursion of slope water on the Scotian Shelf. *Journal de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada* 10: 148-153.

HALPERN, D. 1971. Observations of short-period internal waves in Massachusetts Bay. *Journal of Marine Research* 29: 116-132.

HAURY, L.R., BRISCOE, M.G. et ORR, M.H. 1979. Tidally-generated internal wave packets in Massachusetts Bay. *Nature* 278: 312-317.

HOUGHTON, R.W., SMITH, P.C. et FOURNIER, R.O. 1978. A simple box model for cross-shelf mixing on the Scotian Shelf. *Journal de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada* 35: 414-421.

HUTHNANCE, J.M. 1981. Waves and currents near the continental shelf edge. *Progress in Oceanography* 10: 193-226.

ISELIN, CO'D. 1936. A study of the circulation on the western North Atlantic. *Papers on Physical Oceanography and Meteorology* 4(4): 101 p.

JANOWITZ, G.S. et PIETRAFESA, L.J. 1980. A model and observations of time-dependent upwelling over the mid-shelf and slope. *Journal of Physical Oceanography* 10: 1574-1583.

KROLL, J. et NIILER, P.P. 1976. The transmission and decay of barotropic topographic Rossby waves incident on a continental shelf. *Journal of Physical Oceanography* 6: 432-450.

LEE, T.N., ATKINSON, L.P. et LEGECKIS, R. 1981. Observations of a Gulf Stream frontal eddy on the Georgian continental shelf, April 1977. *Deep-Sea Research* 28: 347-378.

LOUIS, J.P. et SMITH, P.C. 1982. The development of the barotropic radiation field of an eddy over a slope. *Journal of Physical Oceanography* 12: 56-73.

LOUIS, J.P., PETRIE, B.D. et SMITH, P.C. 1982. Observations of topographic Rossby waves on the continental margin off Nova Scotia. *Journal of Physical Oceanography* 12: 47-55.

McLELLAN, H.J., LAUZIER, L.M. et BAILEY, W.B. 1953. The slope water off the Scotian Shelf. *Journal de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada* 10: 155-176.

NANSEN. F. 1902. The Oceanography of the North Polar Basin. *Norvegian North Polar Expedition of 1893-1896. Science Results* 3(9): 427 p. et 33 planches.

OAKEY, N.S. 1983. Mesures de la turbulence près de la surface. *In* Revue 1983 de l'IOB; réd. en chef M.P. Latrémouille; Institut océanographique de Bedford, Dartmouth (N.-É.): 53-54.

OU, H.W. et BEARDSLEY, R.C. 1980. On the propagation of free topographic Rossby waves near continental margins. Part 2: Numerical model. *Journal of Physical Oceanography* 10: 1323-1339.

PETRIE, B. 1975. M2 surface and internal tides on the Scotian Shelf and Slope. *Journal of Marine Research* 33: 303-323.

PETRIE, B.D. 1983. Current response at the shelf break to transient wind forcing. *Journal of Geophysical Research* 88: 9567-9578.

PETRIE, B.D. et SMITH, P.C. 1977. Low-frequency motions on the Scotian Shelf and Slope. *Atmosphere* 15: 117-140.

PINGREE, R.D. 1979. Baroclinic eddies bordering the Celtic Sea in late summer. *Journal of the Marine Biological Association, U.K.*, 59: 689-698.

PINGREE, R.D. et MARDELL, G.T. 1985. Solitary internal waves in the Celtic Sea. *Progress in Oceanography* 14: 431-441.

PRINSENBERG, S.J. et RATTRAY, M., Jr 1975. Effects of continental slope and variable Brunt-Vaisala frequency on the coastal generation of internal tides. *Deep-Sea Research* 22: 251-263.

RATTRAY, M., Jr. 1960. On the coastal generation of internal tides. *Tellus* 12: 54-62.

RHINES, P.B. 1970. Edge-, bottom-, and Roosby waves in a rotating stratified fluid. *Geophysical Fluid Dynamics* 1: 273-302.

SANDSTRÖM, H. 1966. The importance of topography in generation and propagation of internal waves. Thèse de doctorat inédite, University of California at San Diego, San Diego, CA: 105 p.

SANDSTRÖM, H. 1976. On topographic generation and coupling of internal waves. *Geophysical Fluid Dynamics* 7: 231-270.

SMITH, P.C. 1978. Low-frequency fluxes of momemtum, heat, salt and nutrients at the edge of the Scotian Shelf. *Journal of Geophysical Research* 83: 4079-4096.

SMITH, P.C. 1983. Eddies and coastal interactions. *In* Eddies in Marine Science; *Ed.* A.R. Robinson. Berlin, Heidelberg; Springer-Verlag: 609 p.

WARNER, J.L. 1970. Water movement on the Scotian Shelf. Thèse de doctorat inédite, département d'océanographie, université Dalhousie, Halifax (N.-É.): 277 p.

WEBSTER, F. 1981. A description of Gulf Stream meanders off Onslow Bay. *Deep-Sea Research* 8: 130-143.

ZIEBENBEIN, J. 1969. Short internal waves in the Strait of Gibraltar. *Deep-Sea Research* 16: 479-489.

Les bassins sédimentaires de la marge passive de l'Est du Canada

Michael J. Keen

LES bassins sédimentaires, qui atteignent par endroits plus de 20 km de profondeur, se situent au-dessous de la marge continentale de l'est de l'Amérique du Nord depuis la Floride jusqu'à la baie de Baffin. Des bassins semblables existent dans le monde, au large d'autres marges passives comparables.

Les bassins peuvent se définir dans le contexte de l'expansion du fond océanique (voir l'article « Vingt-cinq ans de recherche sur les dorsales » figurant dans la présente revue annuelle). Des *rifts* (ou failles) se forment dans la lithosphère continentale en extension; l'asthénosphère sous-jacente remonte, remplaçant la lithosphère. Elle peut atteindre la surface terrestre sous forme de roches volcaniques. Si l'extension est suffisamment importante, la lithosphère se brise complètement et l'expansion du

fond océanique commence; ainsi se forme la lithosphère océanique (Fig. 1). La nouvelle lithosphère océanique et la lithosphère continentale adjacente se refroidissent, se contractent, formant des bassins où s'accumulent les débris continentaux et la matière organique morte. Les sédiments formés alourdissent la lithosphère, l'affaissement augmente de sorte que les bassins sont plus profonds qu'ils ne le seraient par suite du seul refroidissement lithosphérique. Les bassins sédimentaires comme ceux du large à l'est de l'Amérique du Nord, sont caractéristiques des marges « passives » modernes qu'on trouve dans le monde. Ces marges continentales résultent plutôt de la formation de bassins océaniques au cours des 200 derniers millions d'années, que de la destruction de la lithosphère océanique. Celle-ci survient par collision de deux plaques.

Il existe de tels bassins sédimentaires dans des roches plus anciennes, maintenant incorporées dans les produits de désagrégation des continents; citons par exemple, à l'ouest de Terre-Neuve, la marge passive du Bouclier précambrien qui remonte à 500 millions d'années. Cette ancienne marge appartenait au cycle « Wilson » : un océan s'est ouvert puis fermé; les bassins des marges passives, formés par l'ouverture, se sont altérés par suite de la fermeture puis de la collision (Wilson, 1966). Le cycle Wilson a souvent été appelé d'une manière plus pittoresque — et peut-être plus musicale — le cycle d'« Harry Hibb », d'après le nom du célèbre accordéoniste de Terre-Neuve.

Le cadre lithosphérique dans lequel se sont développés ces bassins a été fixé par diverses techniques géophysiques. Un bon exemple des premières investigations fut la découverte du Graben Orpheus par Loncarevic et ses collègues en 1967 (Loncarevic et Ewing, 1967). Ces derniers ont cartographié une anomalie gravimétrique linéaire négative d'environ 60 milligals qui, d'après les travaux d'exploration ultérieurs, était associée à un bassin sédimentaire triasique, le long du prolongement du système de failles « Glooscap » au nord de la Nouvelle-Écosse (Fig. 3). Des études de réflexion sismique multitrace ont

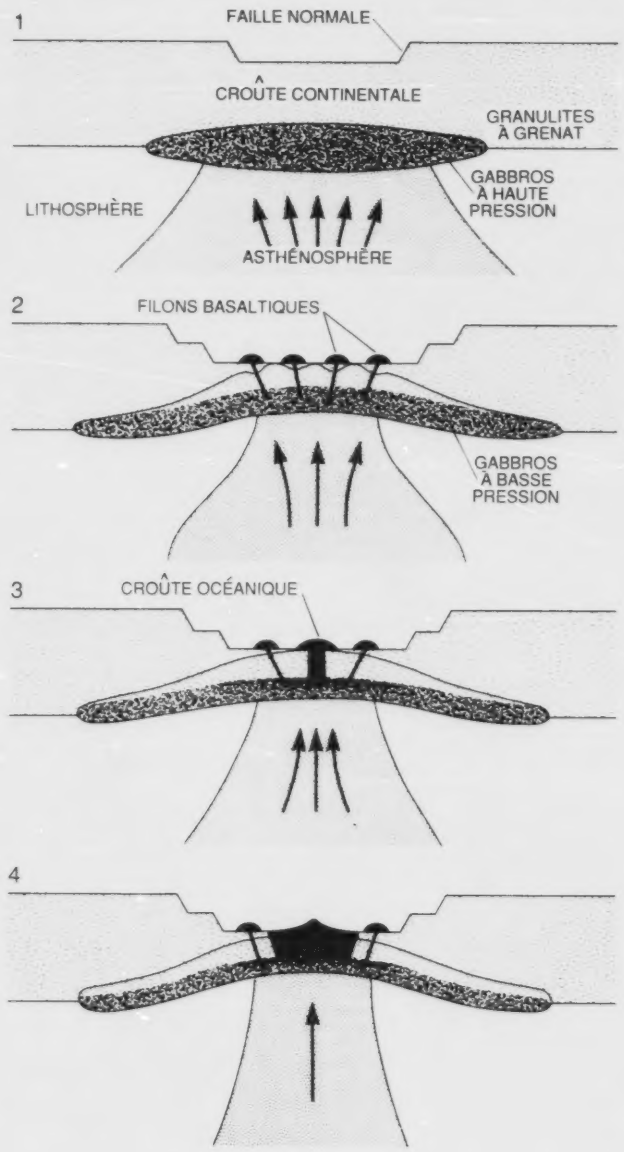
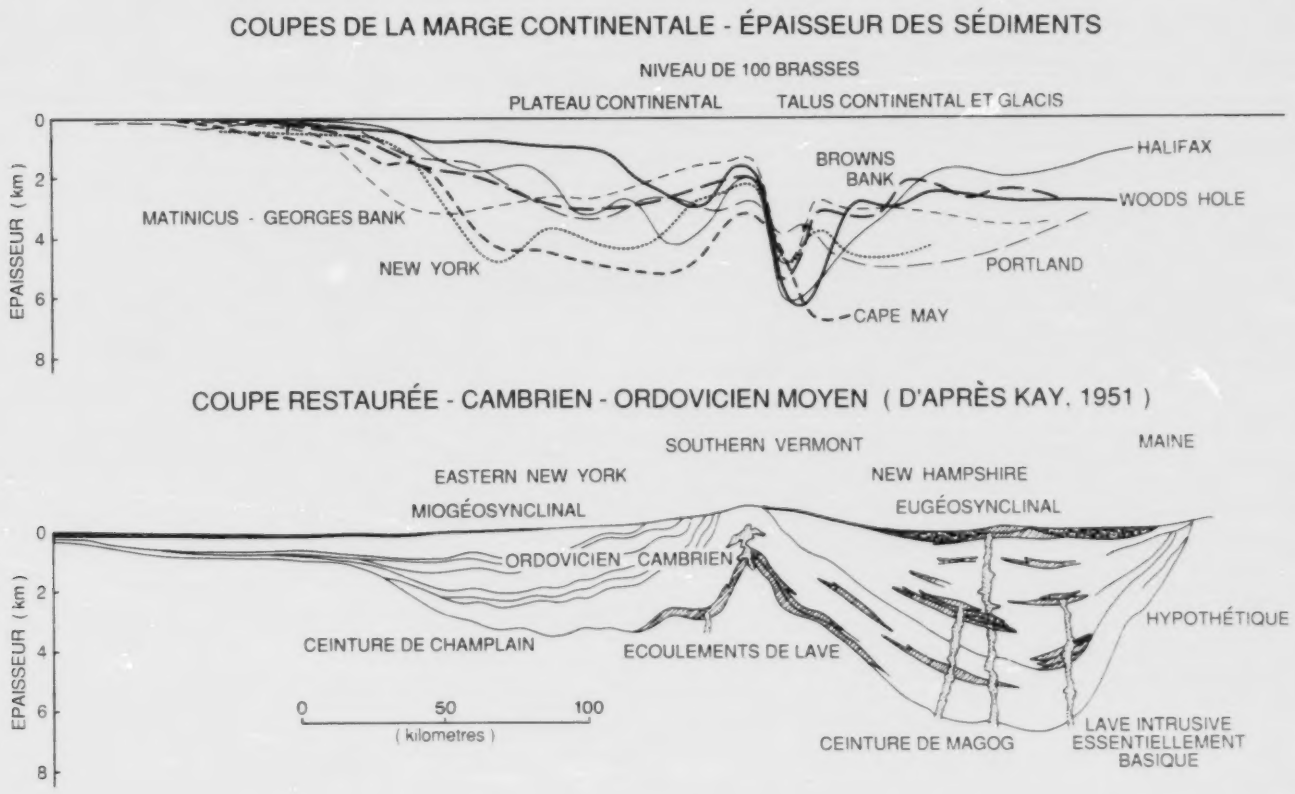


Figure 1. Formation initiale d'un rift et début d'un bassin océanique — formation analogue à celle des rifts de l'Afrique orientale, de la mer Rouge et du golfe d'Aden. Enrico Bonatti, à l'instar de bien d'autres, a avancé l'hypothèse que ces régions sont des archétypes du rifting continental et le début de l'expansion du fond océanique. Voici, en substance, son énoncé : « Le premier stade de la séquence évolutive est illustré par le système de rifts d'Afrique orientale (1) où une plaque de gabbros monte sur la croûte continentale ». Au nord de la mer Rouge (2) la croûte a déjà été étirée et considérablement amincie . . . Des filons basaltiques se sont aussi insérés dans des fissures de la croûte. Dans le sud de la mer Rouge (3) la zone d'injection de magma en fusion s'est concentrée dans l'axe du rift; les blocs continentaux Afrique et Arabie se sont séparés, et la croûte océanique se forme dans la zone de fracture. Dans le golfe d'Aden (4) le fond océanique est en expansion depuis 10 millions d'années". Les preuves de mouvement de plaques ne proviennent pas seulement des rifts de l'Afrique orientale, mais également des expériences sismiques entreprises au large de l'est de l'Amérique du Nord (LASE, 1986). (D'après "The Rifting Continents", par Enrico Bonatti, ©mars 1987. Scientific American.)

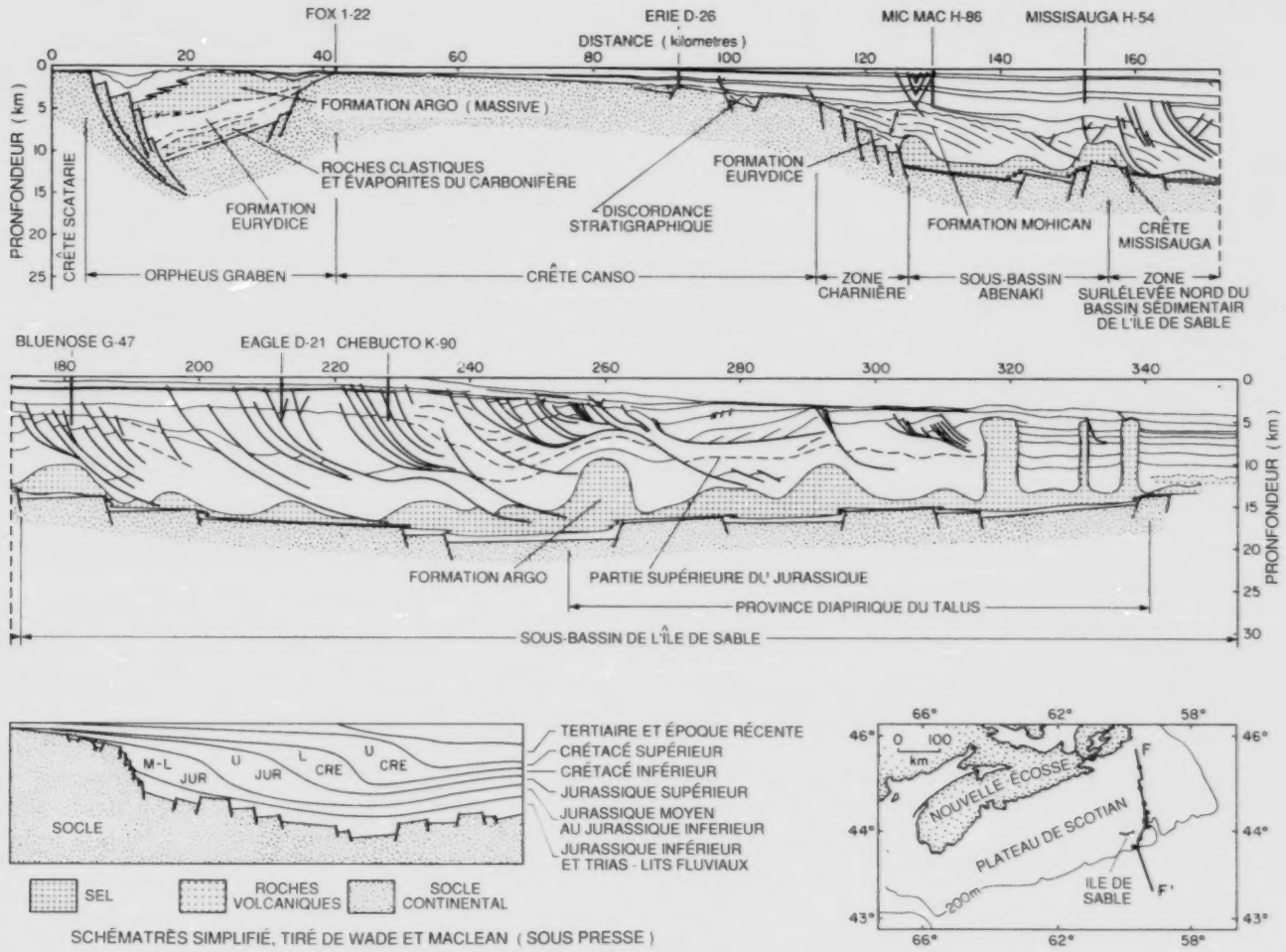


2. Comparaison ancienne entre le « coin » sédimentaire de la marge continentale au large de l'est de l'Amérique du Nord (schéma du haut) avec les Appalaches vues comme « dépliées » selon l'hypothèse de l'époque (schéma du bas). (D'après Drake et al., 1959, Fig. 30).

permis de repérer des failles délimitant certains bassins des Grands bancs en extension. Au moins l'une de ces failles pénètre à des profondeurs de plusieurs dizaines de kilomètres (Fig. 7). Il semble qu'au moins l'ensemble de la croûte terrestre ait été touché par l'extension qui a entraîné la formation des bassins (Keen *et al*, 1987). Le volcanisme associé à la remontée de l'asthénosphère au début de la formation des fossés d'effondrement et de l'extension peut s'observer dans les basaltes vieux de 200 millions d'années qu'on trouve au mont Nord à l'ouest de la Nouvelle-Écosse, dans ceux de la presqu'île Avalon du sud de Terre-Neuve, ainsi que dans les roches volcaniques plus jeunes associées à la formation ultérieure de fossés d'effondrement dans les puits d'exploration (Jansa et Pe-Piper, 1985). La phase préliminaire d'extension et la phase ultérieure d'affaissement se reflètent dans l'enfoncement des sédiments des bassins au large de la Nouvelle-Écosse jusqu'à des profondeurs avoisinant 15 km (Fig. 3 et 4; Wade et MacLean, Sous presse).

Les sédiments des bassins du Mésozoique-Cénozoique, au large de l'est du Canada, témoignent de l'histoire des processus océanographiques, climatiques et lithosphériques des derniers 200 millions d'années (Fig. 5 et 6). Comme tels, ils représentent une mine d'informations scientifiques. En outre, comme ces bassins renferment d'importantes ressources offrent un potentiel économique considérable. Le gisement Hibernia dans le bassin Jeanne-d'Arc au large de Terre-Neuve est classé parmi les gisements « géants » du monde, contenant des réserves de plus de 500 millions de barils de pétrole.

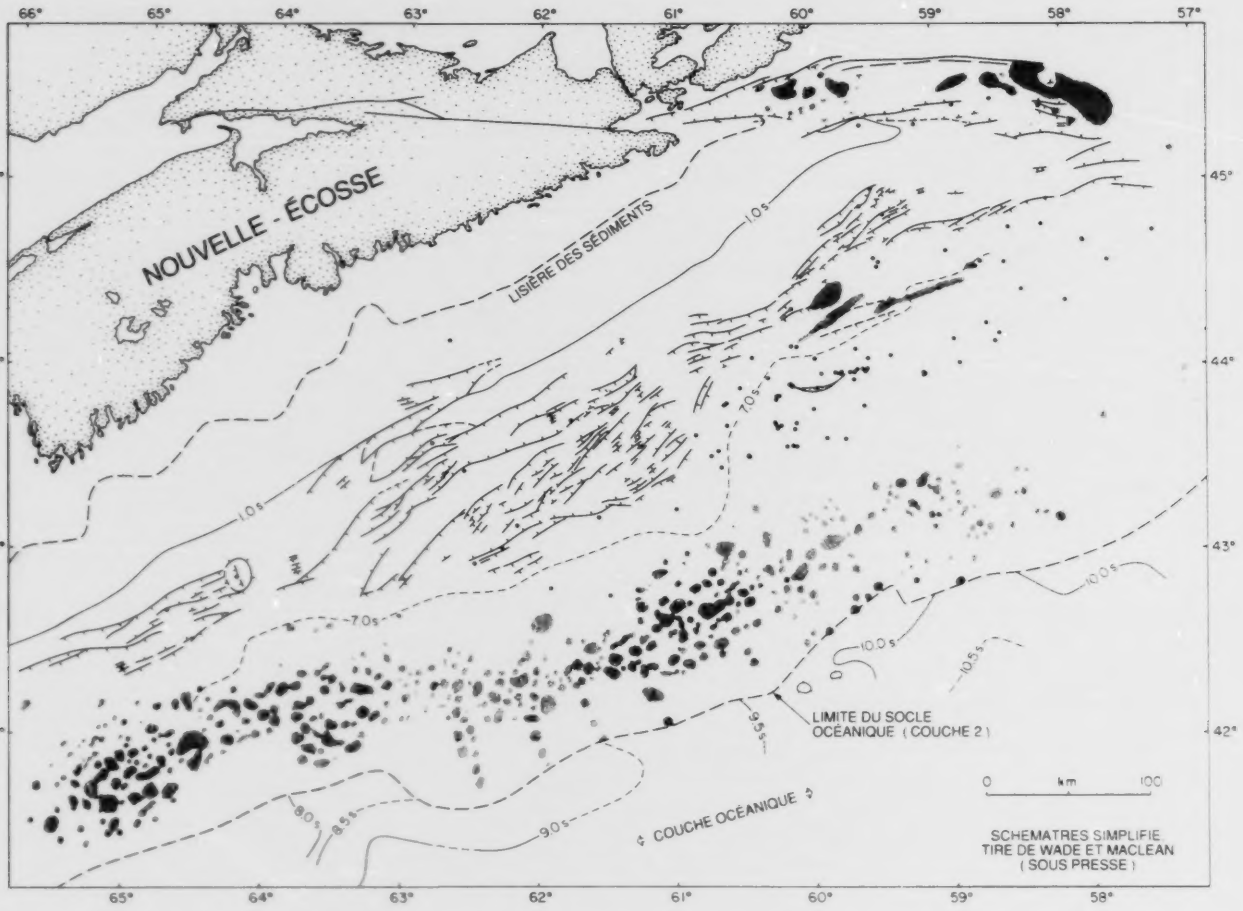
Il y a vingt-cinq ans, ces bassins étaient à peine connus. Les bassins océaniques ont été découverts par l'Observatoire géologique de Lamont-Doherty à la suite d'expériences de réfraction sismique dans les années cinquante. Maurice Ewing et ses collègues de Lamont ont effectué des observations systématiques par réfraction sismique le long d'une grande partie de la marge est de l'Amérique du Nord, ils ont découvert un remplissage épais de sédiments. À partir d'échantillons obtenus par dragage et prenant comme mesure les vitesses de réfraction sismique, ils en ont conclu que ces sédiments étaient une partie submergée des sédiments de la « plaine côtière » de l'est et du sud-est des États-Unis (Drake *et al*, 1959; voir aussi Ken, 1983). *Mobil Oil Canada Ltd.*, ayant présenté une demande de permis d'exploration en 1959 pour l'île de Sable et les zones du plateau aux alentours de l'Île, a effectué des levés aéromagnétiques en 1959 et des levés par réflexion sismique en 1960. De son côté la Commission géologique du Canada a entrepris, en 1958, des levés aéromagné-



3. Coupe transversale d'une marge continentale à rift parvenue à maturité. La coupe est pratiquée du nord au sud, depuis le large de l'île du Cap-Breton jusqu'au glacis continental au sud de l'île de Sable. Elle montre le rift avorté du Graben Orpheus (en haut, à gauche) et les sous-bassins d'Abenaki (en haut à droite) et de Sable (au milieu) du bassin Scotian. La figure montre : la grande épaisseur des sédiments accumulés depuis 200 millions d'années; le dépot de sel près de la base du bassin, qui s'est élevé pour former des « diapirs », dont l'exemple le plus saissisant est au centre-droit, la « province à diapirs »; et la formation de failles qui a accompagné l'affaissement et la déformation causés par le sel. La formation de failles dans la croûte au-dessous des sédiments n'est représentée que de façon schématique. (D'après Wade et MacLean, Sous presse, fig. 5.19).

tiques au large et, en 1959, des levés magnétiques avec le concours du Service hydrographique du Canada. C'est dire qu'au moment de la création de l'IOB en 1962, on savait fort peu de choses sur les immenses bassins sédimentaires océaniques. L'Institut a commencé ses recherches géologiques par le dragage de roches dans les canyons des pentes continentales et par la cartographie géologique des plateaux (par ex. King et MacLean, 1974). Nos premières études géophysiques ont été consacrées aux mesures des champs gravimétriques et magnétiques et, avec le concours d'autres organismes, à des expériences de réfraction sismique en zone peu profonde et dans les grands fonds (par ex. Keen, 1983). L'accroissement depuis 1962 de nos connaissances en structure interne des basssins sédimentaires eux-mêmes provient substantiellement des énormes engagements financiers de l'industrie pétrolière en vue d'acquérir des données de réflexion sismique toujours dernier cri et pour l'exploration de puits en haute mer.

L'étendue géographique des bassins « modernes » — les bassins du Mésozoique et du Cénozoique des derniers 200 millions d'années — au large de l'est du Canada est désormais bien établie par levés géologiques et géophysiques. Les extrémités intérieures effilées des bassins se situent, pour la plupart, seulement à quelques dizaines de kilomètres au large et cette limite intérieure peut être repérée dans le sud jusqu'aux sédiments de la plaine côtière de la même époque sur le continent américain. Dans certaines zones, cette extrémité plumiforme se trouve plus au large

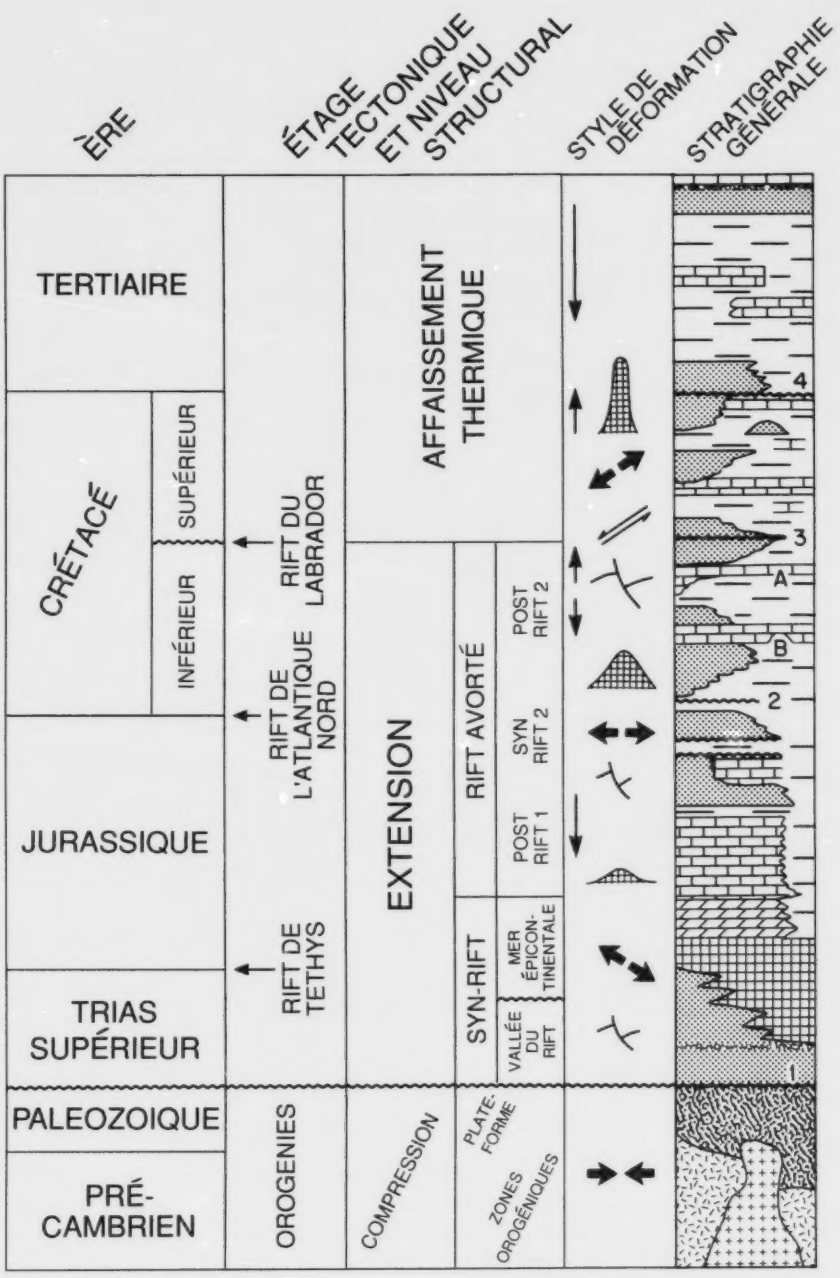


4. La complexité de la structure de la croûte supérieure au-dessous des sédiments de la partie ouest du bassin Scotian et le vaste champ de diapirs au-dessous du glacis, au large de la Nouvelle-Écosse. Le bassin Scotian s'est affaissé au droit d'une zone-charnière représentée ici par la multitude des courbes de niveau en tirets entre, environ, les 4 et 8. Les courbes de niveau représentent le temps de réflexion sismique aller-retour jusqu'à la base des séries sédimentaires. Elles sont absentes au-dessous du champ de diapirs, où l'on ne peut voir la base. Les diapirs sont indiqués par des hachures. La ligne en tirets-pointillés indique la limite nord (côté terre) de la croûte océanique telle qu'elle est indiquée sur les relevés de réflexion-sismique effectués par le secteur privé. (D'après Wade et MacLean, Sous presse, fig. 5.17)

ouvrant ainsi d'importantes possibilités d'investigation au sein des roches sous-jacentes du Paléozoique (Bell et Howie, 1987). La limite extérieure des bassins sédimentaires est moins bien finie parce que les sédiments des bassins fusionnent de façon distale avec ceux des bassins océanique déposés sur la croûtee océanique (fig. 3 et 8).

La facilité d'exécution des levés du plateau continental s'est améliorée avec l'évolution de la technologie. Les premiers levés dans les zones sud de la marge canadienne pouvaient s'effectuer grâce au système de radionavigation DECCA; mais au nord, ils étaient basés sur des observations astronomiques et les repères radar au sol utilisés pour le positionnement. Les levés ultérieurs intégraient des systèmes de navigation comportant des aides-radio tels que le LORAN-C, la navigation par satellite et, dans certains cas, les premières versions du système de positionnement global. Des progrès comparables ont été accomplis avec les systèmes sismiques à haute résolution et les systèmes sonar à balayage latéral (Hutchins *et al*, 1976). Le carottier de l'IOB s'apparentait au marteau du géologue à terre, les échantillonnages étant effectués après que des études sismiques à haute résolution aient localisé un lit rocheux accessible.

La Commission géologique du Canada a amorcé en 1971, à l'IOB, des études sur le développement géologique des bassins sédimentaires, à partir de données du secteur privé complétées par les nôtres. Ces dernières montraient que les sédiments étaient déposés le long de la marge en une série de bassins et de sous-bassins distincts, séparés l'un de l'autre par des failles et des arcs. Les bassins au sud et au nord des Grands bancs sont limités côté terre par des zones charnières d'où les sédiments sont rejetés vers le bassin océanique dans de profondes dépressions (fig. 3 et 4). Les bassins des Grands bancs sont exceptionnels par le fait même qu'ils s'agit de « rifts avortés » c'est-à-dire de bassins



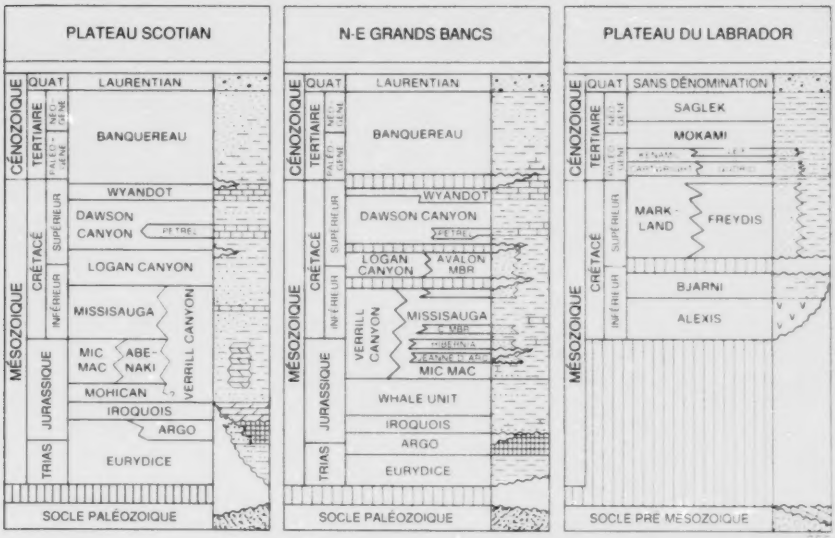
5. Évolution du bassin Jeanne-d'Arc, l'un des bassins sédimentaires des Grands bancs, à travers une histoire complexe d'extension et d'affaissement. (D'après Enachescu, 1987, fig. 7).

qui n'ont pas évolué en bassins océaniques (fig. 5, 6 et 7).

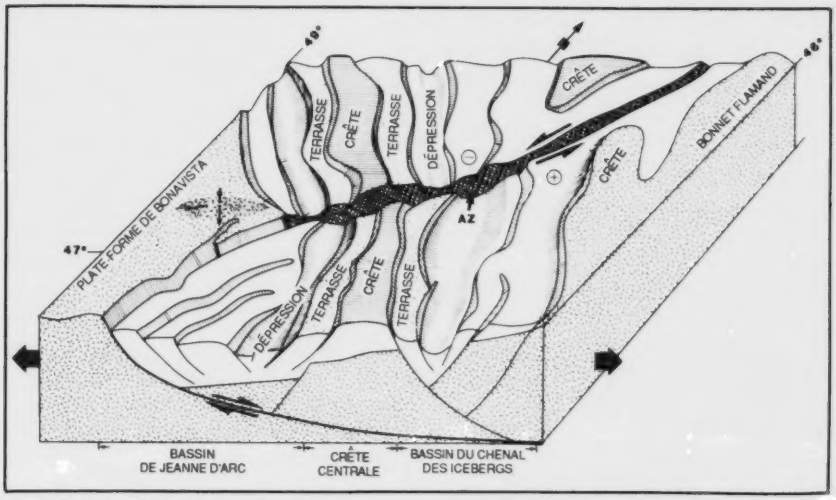
Les bassins développés plus ou moins selon une séquence de formation de fossé et d'expansion du fond océanique ont migré du sud vers le nord. C'est ainsi que les sédiments les plus anciens des bassins au large de la Nouvelle-Écosse peuvent dater du Trias (peut-être 200 millions d'années), mais les sédiments les plus anciens au large du Labrador sont du Crétacé inférieur (environ 130 millions d'années). La formation des fossés remonte à ces époques. Les tout premiers sédiments des rifts proviennent de l'érosion du continent et du dépôt dans un milieu continental et non pas marin; ou dans un milieu où l'accès à la mer était très limité, d'où la précipitation des sels. Ces séquences de dépôt durant la phase de formation d'un rift sont suivies d'une sédimentation marine, par déclenchement de l'expansion du fond océanique avec, par endroits, une rupture nette, ou discordance, entre les roches non marines et les roches marines susjacentes. Les sédiments des bassins des Grands bancs sont plus complexes qu'ailleurs, la région ayant subi les effets de la création d'un rift au sud et au nord des Grands bancs, avant l'expansion du fond océanique (fig. 5, 6 et 7).

Les sédiments des bassins entre le nord des Grands bancs et le banc George sont brusquement interrompus par des formations de sel, qui constituent les premières cibles d'exploration en hydrocarbures : le pétrole et le gaz peuvent être piégés dans des réservoirs au-dessus ou le long des structures en forme de dôme créé par le mouvement vertical du sel. Certains de ces pièges potentiels se situent à des profondeurs relativement faibles au-dessous du fond océanique (fig. 4). Des formations plus profondes n'ont été bien délimitées que grâce aux progrès de la technologie. Si, par exemple, les premiers travaux scientifiques révélaient qu'une crête formée par les roches du « socle » ou les dépôts évaporitiques, se trouvait au-dessous du talus au large de la Nouvelle-Écosse (Emery *et al.*, 1970), des travaux ultérieurs débouchant sur des données plus solides ont montré que cette « crête » est en fait une incroyable série de « diapirs » qui ont surgi des profondeurs (fig. 4). Les caractéristiques des nombreuses régions en cours de prospection d'hydrocarbures étaient connues dès la fin des années soixante et la configuration générale du bassin Scotian était établie dès le milieu des années soixante-dix (Jansa et Wade, 1975).

De nombreuses et nouvelles théories ont facilité l'interprétation des roches des bassins sédimentaires au large de l'est du Canada. La tectonique des plaques et l'expansion du fond océanique forment le cadre d'interprétation sommaire des roches sédimentaires observées. Les variations du niveau des



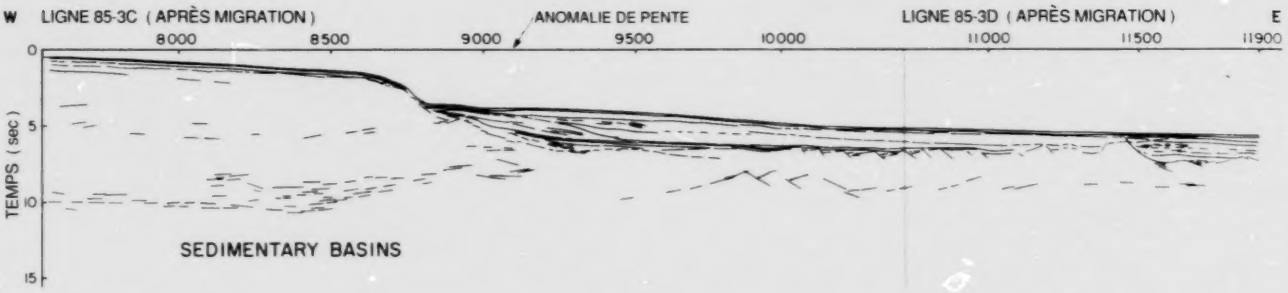
6. Colonnes stratigraphiques généralisées pour les trois principales zones d'exploration des hydrocarbures au large de l'est du Canada. Sur le plateau Scotian, les Grands bancs et à l'est de Terre-Neuve, les sédiments du Mésozoique, chevauchent les roches du Paléozoique nord, dans la mer du Labrador et la baie de Baffin, ils chevauchent les strates sédimentaires du Paléozoique et les roches cristallines du Bouclier précambrien. La stratigraphie des sédiments du Mésozoique sur le plateau Scotian et sur les Grands bancs contraste avec celle du Labrador-sud-est du plateau de Baffin en raison de l'expansion différente du fond océanique dans ces 3 régions. (D'après Grant et al, 1986, fig. 3).



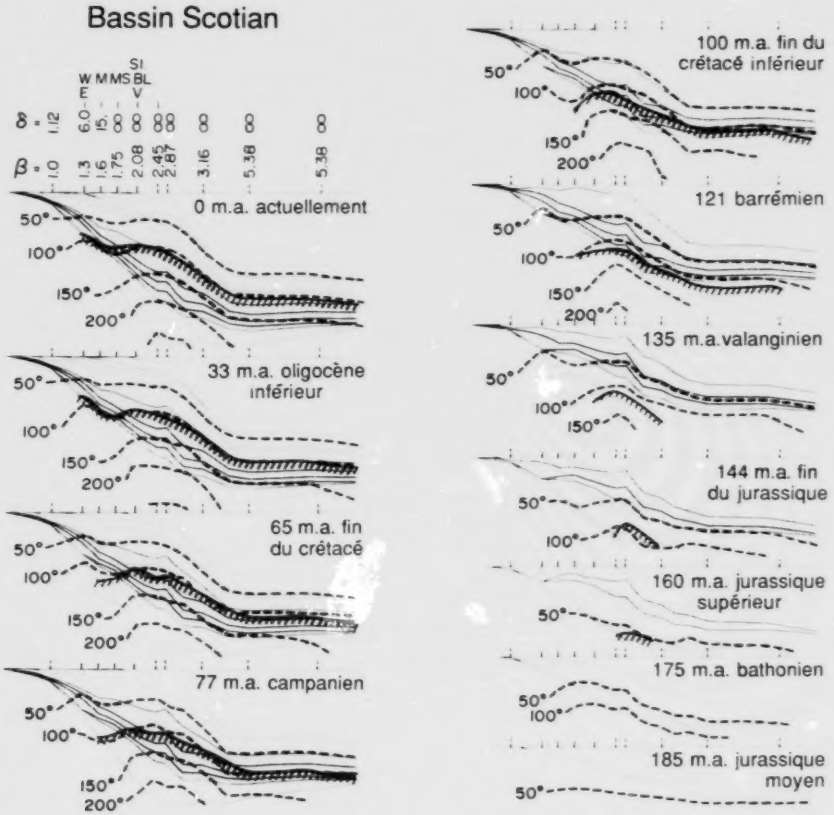
7. Marge continentale au nord-est de Terre-Neuve. Bloc-diagramme montrant les structures complexes qui se produisent lorsqu'un bloc continental se plisse. (D'après Enaschescu, Sous presse, fig. 16).

océans peuvent expliquer bon nombre de discordances entre les différentes séquences de roches identifiées selon les relevés sismiques. Ces variations sont liées au ré-arrangement des plaques continentales entre elles et à l'expansion relative du fond océanique, car ces changements, modifiant le rythme de production de croûte océanique au niveau des chaînes sous-marines, changent le niveau des mers. La dérive des plaques à travers les zones climatiques transformera les types de faune et de flore qui se développeront ainsi que les types de sédiments qui se formeront. Mentionnons, par exemple, les vastes bancs de carbonates qui se sont constitués dans les zones au large de l'est du Canada au Jurassique seulement; ceux-ci ne pouvaient se former que dans des eaux tièdes, correspondant aux latitudes de l'époque (Jansa, 1981). L'interprétation des époques et des milieux de dépôts des séquences sédimentaires ainsi que la résolution de nombreux problèmes pratiques dans l'exploration de pétrole et de gaz sont tributaires de corrélations paléontologiques. Notre capacité à avancer dans cette voie s'est radicalement améliorée grâce à l'évolution des techniques statistiques d'analyse des données sur les puits et des corrélations d'un puits à l'autre. La nécessité de cette progression est évidente. Il nous suffit de considérer que le nombre d'espèces reconnues pour un groupe seulement, celui des dinoflagellés, a augmenté de quelques centaines à près de trois mille au cours des 30 dernières années. Or ces espèces doivent être comparées dans environ 150 puits (Bradstein *et al*, 1985).

Les bassins sédimentaires contiendront des dépôts considérables de pétrole et de gaz si les conditions géologiques se prêtent à leur genèse et leur piégeage. Les roches mères contenant suffisamment de matière organique du type approprié ont dû être déposées et chauffées au point de produire du pétrole et du gaz. Le pétrole et le gaz ainsi formés ont dû s'accumuler dans des réservoirs, des roches poreuses et perméables constituant des pièges scellés qui empêchent les fluides de s'échapper. Encore faut-il que formation et migration dans les pièges aient eu lieu au bon moment. Si la matière organique est formée et que la migration se produise avant que les pièges ne le soient, le pétrole et le gaz seront perdus. Si les pièges sont érodés après avoir servi de réceptacles au pétrole et au gaz, ces fluides peuvent également être perdus. Si l'un des facteurs appropriés manque, le pétrole et le gaz ne se formeront pas.



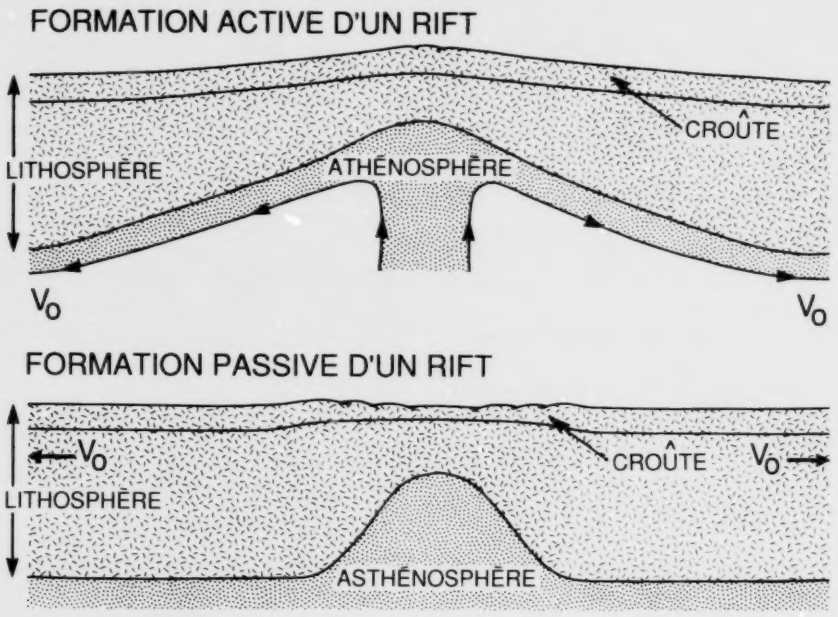
8. Transition du continent à l'océan, au nord-est des Grands bancs. La figure montre le tracé d'un relevé de réflexion sismique multitrace obtenu dans le cadre du Programme géoscientifique des régions pionnières de l'EMR. Les principales caractéristiques de ce schéma sont la variation de profondeur dans la discordance de Mohorovicic, du continent à l'océan (de gauche à droite) et la nature fracturée de ce qui peut être le Moho océanique (centre droit). La raison de cette fracturation n'est pas encore connue, mais nous supposons qu'elle se produit aux points où se recoupent les diverses lignes de fluage de l'Atlantique Nord. (D'après de Voogd et Keen, Sous presse, fig. 5).



9. Prévisions de température et de maturation du bassin Scotian. Les courbes en trait plein représentent les horizons chronostratigraphiques; les courbes en tirets montrent les positions des isothermes; la courbe hachurée indique l'emplacement prévu du haut de la zone de formation de pétrole. La zone ombrée montre la formation Verrill Canyon et son équivalent chronologique. Il s'agit de l'un des divers modèles qui ont été élaborés à partir de différentes distributions des valeurs d'étirement dans la croûte supérieure (beta) et inférieure (delta). (D'après Keen et Beaumont 1987, fig. 6.13).

Le bassin Jeanne-d'Arc, dans les Grands bancs, offre un exemple de ce phénomène (Grant et McAlpine, 1987). Les roches formatrices de pétrole ont été déposées au cours du Jurassique supérieur; ce sont des schistes riches en matières organiques à haute capacité d'hydrocarbures qui se sont développés en raison des conditions océanographiques particulières de l'époque géologique. Les roches réservoirs (grès poreux) se sont déposées au Jurassique supérieur et au Crétacé inférieur; elles se sont transformées en pièges par déformation résultant du mouvement de sel sous-jacent du Trias-Crétacé inférieur. Ces pièges ont été scellés par des schistes imperméables imbriqués avec des grès poreux. Les roches en puissance de pétrole étaient reliées aux réservoirs par des failles, dont un grand nombre se sont développées par suite de la formation du bassin ou de fractures causées par les pressions accrues des fluides prisonniers. Ces roches n'ont pas été suffisamment chauffées pour produire du pétrole avant le Crétacé supérieur et le Tertiaire inférieur, longtemps après que tous les autres facteurs aient été mis en place. Cette combinaison de circonstances propices est à l'origine de la formation du bassin Jeanne d'Arc, site de toutes les principales découvertes d'hydrocarbures au large de la marge orientale du Canada.

La formation des bassins sédimentaires de la marge passive peut être modélisée d'une façon relativement simple. L'extension est déduite des observations de l'épaisseur de la croûte et l'historique de l'affaissement est connu d'après les relevés des puits offshore combinés aux données de réflexion sismique. Selon la méthode proposée par McKenzie (1978), on peut prévoir toute une gamme de phéno-



10. Schéma de formation d'un rift sous l'action de forces actives et passives, établi d'après des modèles numériques. (D'après Keen, 1985, fig. 18).

mènes et les vérifier en se basant sur des observations. Celles-ci incluent notamment le relevé historique des températures des sédiments du bassin (d'où la fixation d'une température idoine à la formation hydrocarbures) et la variation d'anomalies gravimétriques en fonction de l'évolution du bassin. Cette méthode a donné d'excellents résultats dans la reproduction des principales caractéristiques du développement des bassins sédimentaires, et nous pouvons, par exemple, prévoir le moment où les sédiments d'une époque donnée produiront des hydrocarbures (Fig. 9). L'approche, assez simple sur le plan théorique, est difficile en pratique. Elle ne résoud pas, bien sûr le principal problème des bassins sédimentaires ni celui de la tectonique des plaques : elle n'apporte aucune lumière sur les processus en jeu ni sur les forces exercées sur les plaques produisant la formation de rifts et l'expansion.

Ces processus doivent être étudiés en déterminant quelles forces se sont exercées sur une plaque au début du mouvement. Deux sortes de processus peuvent être définis, l'un par lequel la lithosphère est en quelque sorte tirée par des forces appliquées loin du site de la création de fossés (formation passive) et l'autre dans lequel la lithosphère est poussée par le « flux » de l'asthénosphère (fig. 10). Les conséquences géologiques prévues par des expériences numériques ne sont pas encore suffisamment claires; ignorant les propriétés de la lithosphère et de l'asthénosphère, nous ne pouvons distinguer entre ces deux types de possibilités (Keen, 1985). La solution découlera certainement des recherches menées dans cette direction.

Références

BELL, J.S., et HOWIE, R., Sous presse. The Paleozoic offshore eastern Canada. *In*: Geology of Canada: The Continental Margin of Eastern Canada; directeurs de publication: M.J. Keen and G.L. Williams.

BONATTI, E. 1987. Séparation des continents. *Scientific American* 256(3): 97-103.

DE WOOGD, B. et KEEN, C.E. Sous presse. Lithoprobe-east : Results from reflection profiling of the continental margin, Grand Banks region. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, London.*

DRAKE , C.L. EWING, M. et SUTTON, G.H. 1959. Continental margins and geosynclines: The east coast of North America north of Cape Hatteras. *Physics and Chemistry of the Earth 3:* 110-198.

EMERY, K.O., UCHUPI, E., PHILLIPS, J.D., BUNCE, E.T., et KNOTT, S.T., 1970. Continental rise off eastern North America. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin 54:* 44-108.

ENACHESCU, M.E. Sous presse. The tectonic and structural frameword of the northeast Newfoundland continental margin. *Canadian Society of Petroleum Geologist Memoir.*

GRADSTEIN, F.M., AGTERBURG, F.P., BROWER, J.C. et SCHWARZACHER, W. 1985. Quantitative Stratigraphy. Reidel Publishing Company and Unesco, Paris, 598 p.

GRANT, A.C. et MCALPINE, K.D. Sous presse. The continental margin around Newfoundland. *In*: Geology of Canada: The Continental Margin of Eastern Canada, eds. M.J. Keen and G.L. Williams.

GRANTS, A.C., MCALPINE, K.D. et WADE, J.A. 1986. The continental margin of eastern Canada: Geological framework and petroleum potential. *In*: Future Petroleum Provinces of the World; dir. de publication M.T. Halbouty. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 40: 177-205.

HUTCHINS, R.W., MCKEOWN, D.L. et KING, L.H. 1976. A deep tow high resolution seismic system for continental shelf mapping. *Geoscience Canada 3:* 95-100.

JANSA,. L.F. 1981. Mesozonic carbonate platforms and banks of the eastern North American margin. *Marine Geology 44:* 97-117.

JANSA, L. et PE-PIPER, G. 1985. Early Cretaceous volcanism on the northeastern America margin and implications for plate tectonics. *Geological Society of America Bulletin 96:* 83-91.

JANSA, L.F. et WADE, J.A. 1975. Geology of the continental margin off Nova Scotia and Newfoundland. Commission géologique du Canada, Paper 74-30 (v.2): 51-105.

KEEN, C.E., 1985. The dynamics of rifting: Deformation of the lithosphere by active and passive driving forces. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, London, 80:* 95-120.

KEEN, C.E., BOUTILIER, R., DE VOOGD, B., MUDFORD, B. et ENASCHU, M. Sous presse. Crustal geometry and models of the evolution of the rift basins on the Grand Banks off eastern Canada: Constraints from deep seismic reflection data. Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir.

KEEN, M.J., 1983. Les géosciences marines au Canada : État d'avancement. Commission géologique du Canada. Paper 81-6: 9-18.

KING., L.H., et MACLEAN, B., 1974. Geology of the Scotian Shelf. Commission géologique du Canada Paper 74-31 et carte 812H.

LASE. 1986. Deep structure of the US East Coast passive margin from large aperture seismic experiments (LASE) *Marine and Petroleum Geology 3:* 234-242.

LONCAREVIC, B.D. et EWING, G.D. 1967. Geophysical study of the Orpheus gravity anomaly. *In* Proceedings of 7th World Petroleum Congress (Mexico City), v.2, Origin of Oil, Geology and Geophysics, New York, Elsevier: 827-835.

MCKENZIE, D.P. 1978. Some remarks on the development of sedimentary basins. *Earth and Planetary Science Letters 40:* 25-32.

WADE, J. et MACLEAN, B., Sous presse. The Scotian Basin *In:* Geology of Canada: the Continental Margin of Eastern Canada; dir. de publication : M.J. Keen et G.L. Willimans.

Wilson, J.T. 1966. Did the Atlantic close and then reopen? *Nature 211:* 676-681.

Géochimie des métaux traces dans les océans au cours des vingt-cinq dernières années

Phil A. Yeats et J. Michael Bewers

Phil Yeats

Mike Bewers

Au cours des deux dernières décennies, la géochimie marine des métaux à l'état de traces a connu une véritable révolution, due essentiellement au perfectionnement des techniques d'échantillonnage et d'analyse. Elle a profondément enrichi nos connaissances des sources, fosses, transport et élimination des traces dans l'océan. Notre objectif consiste ici à évaluer la nature de cette révolution en comparant nos connaissances du milieu des années soixante sur les processus géochimiques régissant le transport et le comportement des métaux à l'état de traces à celles du milieu des années quatre-vingts.

Au mitan des années soixante, nous savions peu de choses sur le mode d'introduction des traces de métaux dans l'océan, leur transport et leur élimination. Le modèle géochimique classique admettait l'existence de la charge océanique globale en éléments et rendait compte de la manière dont l'eau de mer et les sédiments marins avaient acquis leurs principales caractéristiques de composition. Ces connaissances limitées étaient dues au fait que si les techniques permettaient de mesurer les teneurs en traces (parties par million) des roches et des sédiments elles ne s'appliquaient pas à la mesure des concentrations plus faibles en phase aqueuse. On disposait de peu d'informations fiables sur la présence de constituants à l'état de traces (concentrations inférieures à 1 microgramme par litre), vu la partie très limitée des méthodes d'évaluation. Il s'agissait en général soit de techniques chimiques complexes par voie humide, soit d'analyse par activation neutronique. Dans une publication marquante de cette époque, Schutz et Turekian (1965) traitaient de la répartition de plusieurs éléments à l'état de traces — ils utilisaient l'analyse par activation — dans l'océan mondial au niveau des sources et des fosses, et de l'intensité de la productivité primaire biologique. Toutefois, les techniques actuelles montrent que les données de répartition de ce rapport étaient sérieusement faussées en raison des artefacts contaminants et des limites de la sensibilité analytique. L'IOB, de 1963 à 1970, a consacré la majeure partie de ses efforts dans le domaine de la géochimie, dont il s'agit, au perfectionnement des instruments des techniques d'analyse par activation applicables à l'eau de mer. Bien que ces efforts aient été, dans une certaine mesure, couronnés de succès, la base analytique globale utilisée a été révolutionnée par la mise au point de la spectrophotométrie par absorption atomique. L'application généralisée de la spectrophotométrie par absorption atomique à partir de la fin des années soixante, combinée à des techniques améliorées de préconcentration chimique, a ouvert la voie à deux grandes réalisations. La première a été une révision rapide à la baisse des estimations de concentrations de métaux à l'état de traces dans l'eau de mer et dans l'eau douce. La seconde a été la prise en considération des graves erreurs introduites par les artefacts contaminants, aux phases d'échantillonnage, de stockage des échantillons et de préconcentration, les nouvelles mesures se faisant à de très faibles concentrations. Il en est résulté un déploiement d'efforts considérables axés sur la définition et la résolution de divers problèmes de contamination. Du milieu à la fin des années soixante-dix, d'importantes révisions des estimations de la concentration d'un certain nombre de métaux dans l'eau de mer ont été effectuées, et certains indices révèlent que les répartitions océaniques des métaux se présentent suivant un modèle systématique qui est en rapport avec les conditions de l'océanographie physique. Par exemple, dès 1976, l'estimation de Schutz et Turekian (1965) de la concentration de nickel dans l'eau de mer, — soit environ 2 microgrammes par litre, — était tombée, par un facteur de dix, à environ 200 ng/L (Bewers *et al.*, 1976). D'autres techniques, comme celle de la voltamétrie par strippage anodique, ont également commencé à jouer un rôle, en particulier dans les études de différenciation des espèces et la détermination des fractions labiles des métaux en solution. Donc, dès la fin des années soixante-dix, divers travaux de perfectionnement en échantillonnage et en analyse avaient posé les jalons de la grande révolution qui s'est produite au début des années quatre-vingts. Les répercussions de ces améliorations dans la qualité de déterminations des métaux se reflètent dans la documentation scientifique et sont particulièrement mises en lumière dans les résultats de divers exercices internationaux d'étalonnage inter-laboratoires effectués depuis 1974.

Devant les préoccupations grandissantes au sujet du milieu marin, par désir de mieux évaluer le degré de sa contamination, le Conseil international pour l'exploration de la mer (CIEM) et

la Commission océanographique intergouvernementale (COI) ont entrepris l'évaluation systématique et l'amélioration des techniques analytiques de mesure des métaux à l'état de traces dans l'eau de mer. Les premiers travaux d'interétalonnage menés par le CIEM dans les années 1974 à 1978 ont démontré que même l'analyse d'échantillons homogènes d'eau de mer, améliorés artificiellement, était loin d'être acceptable au plan de l'exactitude et de la comparabilité. Les principaux écarts s'observaient entre les analyses d'échantillons réels d'eau de mer faites par différents laboratoires décelant d'importantes traces métalliques dans le milieu marin (p. ex. Hg et Cd). Dès 1980, cette situation s'était considérablement améliorée (Bewers *et al.*, 1981) et des progrès suffisants avaient été accomplis dans le domaine de la reproductibilité analytique pour qu'on puisse concentrer les efforts d'une part sur l'influence des instruments d'échantillonnage par rapport à l'intégrité des échantillons; l'autre part sur la mise au point de techniques non contaminantes pour dissocier les fractions des particules dissoutes de celles des particules en suspension des métaux dans l'eau de mer (Bewers *et al.*, 1985). À divers stades de ce processus d'intercomparaison, l'utilité et l'importance d'étalons et d'échantillons de référence applicables à la géochimie marine se sont révélées évidentes. Le Canada a été le premier pays à instaurer (en 1976), surtout à l'instigation des chimistes océanographes de l'IOB, un programme consacré à la production de ce matériel destiné à des applications dans les sciences du milieu marin et à l'amélioration de la méthodologie analytique connexe. Ce programme mis en oeuvre au sein du Conseil national de recherches du Canada (CNRC) a été une brillante réussite, en partie grâce à l'étroite et efficace collaboration des chimistes-analystes du CNRC et des chimistes océanographes de l'IOB. Ces travaux se sont concrétisés par la production d'un nouveau et précieux matériel de référence océanographique destiné à des applications relevant des domaines de la recherche et de la réglementation, et reconnu à l'échelle internationale (Berman *et al.*, 1985).

Les recherches sur la biogéochimie marine des métaux ont généralement été conçues pour établir un bilan des taux d'introduction et d'élimination des métaux et des processus qui régissent le transport océanique interne et la transformation des espèces chimiques. Dans une large mesure, ces études ont porté sur les effets de l'activité biologique, les interactions particules-eau et les processus chimiques d'oxydation et de réduction qui ou bien séquestrent les métaux en particules ou entraînent leur remise en solution et leur recyclage dans l'océan. Les études géochimiques côtières ont été axées essentiellement sur les processus qui influent sur le transport des substances pénétrant dans la mer par ruissellement continental. L'analyse qualitative et quantitative de ces processus fournit des estimations sur le degré d'élimination littorale des constituants du ruissellement et sur les flux nets de substances introduites en haute mer; elles sont essentielles à la compréhension des voies de transport océanique et des bilans de masse.

Une première recherche effectuée à l'aide de techniques analytiques plus précises a porté sur les distributions des métaux sur le plateau continental Scotian et son talus, et a démontré l'existence d'écarts statistiquement significatifs entre les eaux côtières, l'eau du talus et celles de l'Atlantique Nord central (Bewers *et al.*, 1976). Cette étude a également révélé le rôle des processus biologiques dans l'appauvrissement des concentrations des métaux dans les eaux de surface par rapport aux eaux sous-jacentes. Le cycle biologique des métaux et l'étroite similitude des distributions de Cd, Ni et Zn avec celles des nutriments

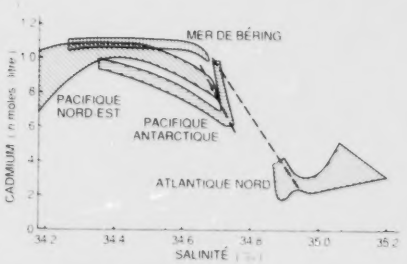


Fig. 1 Diagramme cadmium-salinité pour les eaux des océans Atlantique et Pacifique.

de l'océan Pacifique ont été clairement prouvés peu après (voir Bruland, 1983 pour une récapitulation de ces travaux). La principale réalisation a consisté à produire des « profils uniformes sur le plan océanographique », profils verticaux qui peuvent être interprétés en fonction des processus biogéochimiques ou océanographiques connus. Des tentatives ont également été faites pour expliquer la variabilité géographique en fonction des processus géochimiques et océanographiques, notamment par des comparaisons entre les océans. On est arrivé au stade où l'on peut décrire désormais les distributions des métaux par des diagrammes métal-salinité analogues aux diagrammes température-salinité de l'océanographie physique descriptive classique (voir fig. 1). Cette figure illustre également l'importance des progrès analytiques par le fait même qu'elle reflète l'uniformité des données d'un certain nombre de laboratoires. Une telle utilisation cumulative des données de différents laboratoires aurait été impossible il y a quelques années.

L'évolution des techniques analytiques a facilité la progression de plusieurs autres domaines de la recherche géochimique. L'enrichissement de nos connaissances sur les concentrations et le comportement d'une série en expansion constante d'éléments dans le milieu

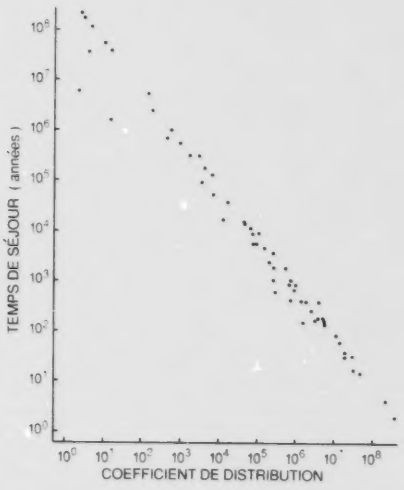


Fig. 2. Tracé des temps de séjour océanique des éléments d'après les apports en fonction du coefficient de distribution entre les argiles pélagiques et l'eau de mer pour 62 éléments.

marin s'est traduit par une amélioration marquée de l'uniformité des caractérisations empiriques de la réactivité des métaux sur le plan des interactions particules-eau. Ce fait peut être illustré par la représentation graphique du temps de séjour en mer (mesure de la réactivité dans l'océan) en fonction du coefficient de distribution entre l'eau de mer et les sédiments d'après les données les plus récentes (fig. 2). Cette figure montre combien s'est améliorée la cohérence des données par rapport aux graphiques précédents du même type. Cet empirisme perfectionné permet désormais de faire des examens plus systématiques des distributions et des fragmentations de métaux en fonction des propriétés chimiques de base comme les constantes hydrolytiques, les produits de solubilité et les potentiels ioniques des éléments. Un autre exemple est le rôle des métaux dans les études de la production biologique. Les premières mesures de la productivité primaire ont utilisé invariablement des concentrations de métaux très supérieures à celles que nous connaissons maintenant et qui sont caractéristiques des eaux marines. L'importance des métaux soit comme micronutriments soit comme toxines pour les organismes phytoplanctoniques fait actuellement l'objet de recherches à des concentrations qui sont plus représentatives des doses métalliques en milieu marin. En outre, les progrès accomplis dans la méthodologie analytique et les connaissances géochimiques ont débouché sur des études plus détaillées des interactions entre les métaux et le biote, notamment la différenciation des espèces de métaux et la formation d'espèces biométalliques naturelles.

La plupart des premières études de géochimie marine dans les zones côtières décrivent les distributions spatiales et en profondeur des métaux dissous dans les estuaires et les eaux côtières. Les études initiales dans les estuaires avaient fait l'analyse approchée des concentrations de métaux et donné une idée rudimentaire de leurs rapports avec la salinité (degré d'élimination ou de dissolution). Ces études visaient essentiellement l'établissement des concentrations moyennes dans les eaux côtières (p. ex. Preston *et al.*, 1972). Telles furent nos études de

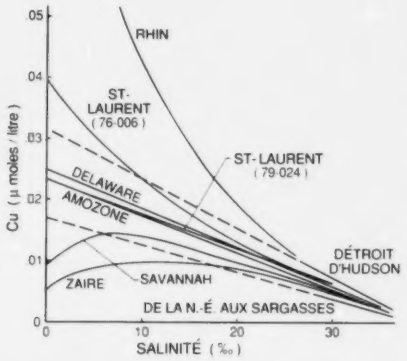


Fig. 3. Diagramme des rapports métal-salinité pour le cuivre dissous en estuaire.

l'estuaire du Saint-Laurent, du fjord du Saguenay, du golfe du Saint-Laurent (Bewers et Yeats, 1979) et du plateau continental Scotian (Bewers *et al.*, 1976). Outre la détermination des concentrations de fond de Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn et Cd dans les eaux et la description d'une certaine variabilité fondamentale, ces études initiales ont permis de faire des observations très intéressantes qui elles-mêmes ont conduit à des recherches ultérieures détaillées sur des processus responsables du comportement observé.

Les rapports métaux-salinité ont maintenant été déterminés pour un grand nombre d'estuaires, notamment dans deux études supplémentaires de l'estuaire du Saint-Laurent à des saisons différentes. Les résultats d'un bon nombre de ces études sembleraient à première vue assez contradictoires, puisqu'il est signalé que, pour un métal donné, on relève un comportement stable dans un estuaire, un phénomène d'élimination dans un autre et un phénomène d'apport dans un troisième. Un examen plus rigoureux des résultats permet d'expliquer ces contradictions apparentes. Pour le cuivre, par exemple (Fig. 3), on relève un apport dans les estuaires du Zaïre et de la Savannah (Moore et Burton, 1978; Windom *et al.*, 1983); un comportement modéré dans ceux de l'Amazone et du Delaware (Boyle *et al.*, 1982; Sharp *et al.*, 1984) et une élimination dans celui du Rhin (Duinker et Nolting, 1978). Nos résultats pour le Saint-Laurent montrent une élimination estuarienne au cours d'une expédition en mai 1976, et un comportement stable en août 1979. Ces différences peuvent facilement s'expliquer par des différences de concentrations dans les rivières. Pour les rivières à faibles concentrations de cuivre, la distribution de ce métal montre une tendance à la hausse dans la zone de brassage. Pour des concentrations intermédiaires d'environ 25 µM (1,5 ug/l), un comportement stable est évident et à des concentrations plus élevées, la distribution montre des signes d'élimination au cours du brassage. Malgré ces différences de concentrations dans les rivières et de comportement en estuaire, les concentrations de cuivre pour tous ces estuaires présentent peu d'écart pour des salinités de 30 pour mille ou plus. Pour les autres métaux, la variabilité du comportement en estuaire n'est pas nécessairement reliée aussi simplement à une seule variable. D'autres paramètres, notamment les variations de conditions rédox, les modifications en quantité et en nature de la charge en suspension, les interactions avec les sédiments, etc. peuvent tous avoir un effet sur le comportement des métaux.

Le comportement du manganèse en estuaire est peut-être le plus intéressant parce qu'il peut révéler à la fois les phénomènes d'apport et d'élimination dans le même transect estuarien par suite des réactions de dissolution et de précipitation. Nos études dans l'estuaire du Saint-Laurent ont montré ce type de comportement dans la zone supérieure de l'estuaire, mais aussi des distributions assez surprenantes du manganèse dissous et parcellaire dans les eaux profondes et inférieures de l'estuaire du Saint-Laurent (Yeats *et al.*, 1979). Les concentrations de Mn dissous augmentent de façon exponentielle avec la profondeur, atteignant un maximum à l'interface sédiments/eau. Les concentrations de Mn parcellaire sont également plus élevées en eaux profondes qu'à une profondeur intermédiaire, mais, dans ce cas, les concentrations maximales se trouvent à environ 50 m au-dessus des sédiments. Ces distributions résultent de la libération du manganèse dissous dans la colonne d'eau en provenance des sédiments, suivie d'une précipitation sur les matières parcellaires

en suspension dans les eaux profondes du bas estuaire. Comme ces précipités d'oxyde de manganèse peuvent séquestrer d'autres traces métalliques, le processus de dissolution et de nouvelle précipitation du manganèse dans l'estuaire peut avoir un effet important sur le comportement de métaux plus toxiques.

Les recherches sur le comportement des métaux dans les zones côtières ont non seulement enrichi nos connaissances sur les distributions naturelles et leur variabilité, mais elles en ont également précisé les processus. En outre, nos connaissances plus étendues des influx océaniques et des taux d'élimination ont amélioré notre capacité à mesurer l'impact des apports dus aux activités humaines et à faire des comparaisons entre les flux naturels et anthropogéniques. Un bon nombre de ces progrès ont été réalisés à partir des calculs de bilan de masse. Le golfe du Saint-Laurent est un système côtier/continental semi-fermé, presque idéal, dans lequel les influx et les sorties de nutriments et de métaux peuvent être quantifiés. Si l'on admet que ce système est typique d'autres systèmes de zone côtière et de plateau continental qui ne se prêtent pas à des mesures similaires de flux, les résultats des bilans de masse pour le Golfe ont été extrapolés à l'océan global. Une telle extrapolation fournit des estimations des influx nets des métaux provenant du ruissellement et introduits en haute mer et de l'importance du recyclage des métaux sur le plateau continental; elle permet d'édifier des bilans de masse océaniques (Bewers et Yeats, 1977; Yeats et Bewers, 1983). La connaissance des flux de métaux dans le golfe du Saint-Laurent et de leur variabilité a également servi à calculer la sensibilité du Golfe aux variations d'émission de métaux (Yeats *et al.*, 1978). Il ressort de cette étude qu'il faudrait des changements assez importants dans les apports pour qu'on observe des modifications dans les concentrations de métaux dans le Golfe. Plus récemment, cette approche par le bilan de masse a permis d'établir une comparaison entre les composantes naturelles et anthropogéniques des flux de cadmium dans le milieu marin afin de déterminer dans quelle mesure l'activité humaine a augmenté la dissémination globale de cet élément, et d'examiner la nature et les étapes de la réaction océanique à ces flux accrus de cadmium.

Au cours des 15 dernières années, nous avons appris que plusieurs métaux (Cd, Zn, Ni) présentent des distributions verticales en haute mer semblables à celles d'éléments nutritifs plus réactifs, phosphates et nitrates. Ces distributions sont le résultat de l'incorporation des métaux aux organismes biologiques durant leur croissance et de leur libération quand ces organismes se décomposent. De fait, nous avons une certaine idée des proportions de métaux dissous incorporés aux organismes et libérés par ces derniers par rapport à l'absorption et à la régénération des éléments nutritifs. Autre déduction : la répartition globale des principales caractéristiques de la distribution des métaux en haute mer reflète essentiellement les sources d'eaux profondes et les processus océanographiques physiques. Et cela permet une bien meilleure résolution des anomalies de distributions signalés par la réactivité chimique. Par exemple, certaines caractéristiques de distribution du manganèse en haute mer sont une conséquence de la lente oxydation du Mn^{2+} en phase dissoute, qui donne du MnO_2, précipité de la solution et séquestré par les particules en sédimentation. Ces études et d'autres travaux connexes ont amélioré nos connaissances sur les flux océaniques internes des métaux, tandis que les recherches en géochimie des métaux dans les eaux estuariennes et côtières ont considérablement enrichi nos données sur les flux bruts et nets des matériaux provenant du continent et déversés dans l'océan. Une autre grande étape a été franchie lorsqu'il a été reconnu que les processus tectoniques près des centres d'expansion du fond et d'autres apports hydrothermaux sont d'importantes sources d'éléments à l'état de traces sur le fond de l'océan.

Références

BERMAN, S.S., MCLAREN, J.W. et JAMIESON, W.D. 1985. The marine analytical chemistry standards program of the National Research Council of Canada. *In* Quality Assurance for Environmental Measurements; Eds. J.K. Taylor and T.W. Stanley. American Society for Testing and Materials Publication STP 867, ASTM, Philadelphia: 334-345.

BEWERS, J.M. et YEATS, P.A. 1976. The distribution of trace metals in the western North Atlantic off Nova Scotia. *Geochimica et Cosmochimica Acta 40*: 687-696.

BEWERS, J.M. et YEATS, P.A. 1977. Oceanic residence times of trace metals. *Nature 268*: 595-598.

BEWERS, J.M. et YEATS, P.A. 1979. The behaviour of trace metals in estuaries of the St. Lawrence basin. *Le Naturaliste Canadien 106* : 149-161.

BEWERS, J.M., DALZIEL, J., YEATS, P.A. et BARON, J.L. 1981. An intercalibration for trace metals in seawater. *Marine Chemistry 10*: 173-193.

BEWERS, J.M., YEATS, P.A., WESTERLUND, S., MAGNUSSON, B., SCHMIDT, D., ZEHLE, H. BERMAN, S.S., MYKYTIUK, M. DUINKER, J.C., NOLTING, R.F., SMITH, R.G., et WINDOM, H.L. 1985. An intercomparison of seawater filtration procedures. *Marine Pollution Bulletin 16*: 277-281.

BOYLE, E.A., HUESTED, S.S. et GRANT, B. 1982. The chemical mass-balance of the Amazone plume — II. Copper, nickel and cadmium. *Deep Sea Research 29*: 1155-1364.

BRULAND, K.W. 1983. Trace elements in seawater. *In* Chemical Oceanography; *Eds.* J.P. Riley and R. Chester London; Academic Press: 157-220.

DUINKER, J.C. et NOLTING, R.F. 1978. Mixing, removal and mobilization of trace metals in the Rhine estuary. *Netherland Journal of Sea Research 12*: 205-223.

MOORE, R.M. et BURTON, J.D. 1978. Dissolved copper in the Zaire estuary. *Netherlands Journal of Sea Research 12*: 355-357.

PRESTON, A., JEFFERIES, D.F., DUTTON, J.W.R., HARVEY, B.R. et STEELE, A.K. 1972. British Isles coastal waters: the concentrations of selected heavy metals in seawater, suspended matter and biological indicators — A pilot survey. *Environmental Pollution 3*: 69-82.

SCHUTZ, D.F. et TUREKIAN, K.K. 1965. The investigation of the geographical and vertical distribution of several trace elements in sea water using neutron activation analysis. *Geochimica et Cosmochimica Acta 29*: 259-313.

SHARP, J.H., PENNOCK, J.R., CHURCH, T.M., TRAMONTANO, J.M. et CIFUENTES, L.A. 1984. *In* The Estuary as a Filter; *Ed.* V.S. Kenedy. London; Academic Press: 241-258.

WINDOM, H.L., WALLACE, G., SMITH, R., DUDEK, N., MAEDA, M., DULMAGE, R. et STORTI, F.. 1983. Behavior of copper in southeastern United States estuaries. *Marine Chemistry 12*: 183-193.

YEATS, P.A. et BEWERS, J.M. 1983. Potential anthropogenic influences on trace metal distributions in the North Atlantic. *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques 40* (Supplément 2): 124-131.

YEATS, P.A., BEWERS, J.M. et WALTON, A. 1978. Sensitivity of coastal waters to anthropogenic trace metal emissions. *Marine Pollution Bulletin 9*: 264-268.

YEATS, P.A., SUNDBY, B. et BEWERS, J.M. 1979. Manganese recycling in coastal waters. *Marine Chemistry 8*: 43-55.

Navigation : histoire de la R & D à l'Institut

Steven T. Grant et David L. McKeown

Steve Grant

LA Deuxième Guerre mondiale a ouvert l'âge moderne de la navigation. Les progrès apportés depuis lors aux instruments existants ont été remarquables; les innovations, totales et nombreuses. Les plus importantes sont l'emploi des ondes radio, des méthodes acoustiques, de l'informatique et des satellites pour la navigation. Bien que les travaux de base aient dans la plupart des cas été réalisés pendant la guerre et juste après, de nombreux progrès réellement importants ont eu lieu pendant les années soixante et soixante-dix. L'Institut océanographique de Bedford (IOB) a joué un rôle important dans la plupart des cas.

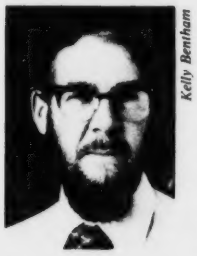
Avant d'examiner la place de l'Institut dans la navigation moderne, il est nécessaire de connaître ce qui manquait, sous le rapport de la navigation, aux scientifiques et hydrographes effectuant des recherches océanographiques et géophysiques ou des levés hydrographiques dans les eaux canadiennes. Les exigences des scientifiques en matière de navigation dépendent en grande partie du paramètre choisi. Les phénomènes marins peuvent être de caractère mobile (horizontalement et verticalement) ou stationnaires; dans les deux cas, ils peuvent varier avec le temps. Les caractéristiques des fonds marins comme la bathymétrie, la gravité, le magnétisme, la géologie superficielle et subsuperficielle, sont, dans la plupart des cas, considérés comme stationnaires et fixes dans le temps, sauf à l'échelle des temps géologiques. Les populations de poissons, la composition chimique de l'eau, les marées et les paramètres, comme les courants et tourbillons, sont généralement à la fois mobiles et variables dans le temps.

Les paramètres du milieu marin sont difficiles à mesurer, et de plus l'environnement lui-même rend leur mesure ardue. Par exemple, il est relativement facile de faire le point pour une embarcation stationnaire en surface à quelques mètres du rivage, mais c'est une autre affaire de déterminer le cap, la vitesse, la descente et la position d'un submersible télécommandé par rapport à un accident du relief sous-marin éloigné de la terre la plus proche.

La navigation agit en paramètre-limite pour une bonne part des travaux scientifiques en mer. Elle limite les travaux réalisés et aussi l'envergure des projets envisagés. Dans de nombreux cas, il est difficile de présenter des exigences absolues en matière de navigation, car la nature des travaux effectués actuellement pourrait être radicalement modifiée si les moyens de navigation s'amélioraient.

Les débuts de la navigation à l'IOB

Lorsque l'IOB a été créé, en 1962, la navigation en haute mer, à plus de 1000 km des terres, se fondait principalement sur les méthodes astronomiques classiques utilisées depuis quelques siècles. Les seules exceptions étaient un système azimutal de radionavigation à faible précision appelé CONSOL et le dispositif Loran-A utilisant les ondes ionosphériques. Une précision de 2 à 5 milles marins était le maximum qu'on pouvait atteindre. Près des terres, les systèmes de positionnement radio comme le Hi-Fix, avec une portée d'environ 100 km, et le Decca (Decca navigation et Decca Lambda), avec une portée d'environ 300 km, pouvaient assurer une précision de quelques dizaines à quelques centaines de mètres dans des conditions idéales. Mais ces systèmes à ondes entretenues étaient très sensibles à l'interférence des ondes ionosphériques, particulièrement la nuit



Dave McKeown

et à longue distance; ils causaient souvent des erreurs non détectables de quelques kilomètres. Très près du rivage, dans les petites baies et les ports, on déterminait le point, soit de façon précise à l'aide du sextant tenu à l'horizontale, soit de façon approximative au radar.

Pendant quelques années, il y a eu peu d'évolution en matière de navigation à l'Institut. Puis, l'insuffisance des systèmes de navigation se fit de plus en plus sentir au point de provoquer des discussions considérables et de limiter gravement les programmes scientifiques. Toutefois, en 1965, Loncarevic (1969) avait mis au point une méthode permettant de déterminer avec précision la position relative du NSC *HUDSON* au-dessus de la dorsale médio-atlantique, en utilisant une bouée à transpondeur radar. À la même époque, Kuehnel et Loncarevic avaient commencé à étudier l'emploi des signaux Omega à très basse fréquence pour la navigation en haute mer; Eaton (1966) examinait l'emploi et la précision du système hyperbolique Hi-Fix; Dalby (1968) élaborait des programmes informatiques pour calculer automatiquement le point du bateau à partir des observations Decca.

Ailleurs, particulièrement en Angleterre et aux États-Unis, on mettait au point de nouveaux systèmes de localisation radio doués d'une vaste gamme de fréquences, de précisions, etc. Il existait probablement plus de deux douzaines de systèmes à la fin des années soixante. Cependant, celui qui allait avoir l'impact le plus important sur la navigation

à l'Institut fut le système satellitaire Transit, mis au point pour la marine américaine (Navy Navigation Satellite System ou NNSS).

Le système Transit est entré en service pour les forces militaires canadiennes en janvier 1964; il a été mis à la disposition des usagers commerciaux en juillet 1967. L'Institut a acquis deux récepteurs au début de 1968 et, à la fin de 1969, les avait utilisés à grande échelle en mer et sur terre. Ces récepteurs ont servi au positionnement au cours des croisières visant la dorsale médio-atlantique, aux levés géodésiques dans le nord du Canada et au Groenland, au calcul des chenaux du Decca Lambda, et furent utilisés pour déterminer les mouillages dans le passage de Drake au cours de la campagne Hudson 70, et dans de nombreux autres projets (Wells et Ross, 1969; Ross *et al.*, 1970; Brunavs et Wells, 1971). Les principales limites à l'emploi de Transit en mer étaient la nécessité de connaître précisément le cap et la vitesse du bateau pendant les vingt minutes que durait approximativement le passage du satellite, ainsi que le fait qu'il n'assurait pas un positionnement en continu.

Les années soixante-dix et quatre-vingts

Il ressort de ce qui précède que l'Institut consacrait un effort considérable aux études sur la navigation, mais que, pour la direction de l'époque, cette approche parcellaire ne pouvait tirer pleinement profit de toutes les innovations technologiques qui se manifestaient. Il a donc été décidé d'établir un groupe de spécialistes qui pourrait mener des travaux de R & D à vocation utilitaire sur tous les aspects de la navigation. Le Groupe de la navigation a donc vu le jour à la fin de juillet 1970.

L'étude des systèmes de radionavigation et des problèmes de propagation des ondes a toujours concentré l'effort des chercheurs de l'IOB. Le Groupe de la navigation a maintenu la tradition en s'intéressant au Loran-C.

Le Loran-C est un système hyperbolique d'aide à la radionavigation qui émet à 100 kHz. Il offre une longue portée (plus de 750 nm) et une précision moyenne (0,2 microsecondes ou 30 m sur la ligne de base) en effectuant des mesures de comparaison de phase d'un signal sous forme d'ondes de sol pulsées. Le Loran-C a été adopté à la fin des années soixante-dix par la garde côtière américaine comme aide à la navigation standard sur le littoral et dans la zone de confluence des routes maritimes.

Pour commencer, le Groupe de la navigation a étudié les caractéristiques du système ainsi qu'une application particulière appelée Loran-C « rho-rho » afin de déterminer dans quelle mesure ils pouvaient être utilisés pour les levés à multiparamètres en haute mer (hydrographiques et géophysiques). À partir de 1972, le système a servi de façon exclusive au positionnement des navires de l'Institut dans la zone hauturière couverte par le réseau Loran-C.

Le Groupe de la navigation a aussi étroitement collaboré avec la garde côtière canadienne, au début des années quatre-vingt, pour la localisation des émetteurs des nouvelles chaînes du Loran-C sur les deux côtes du Canada. Le SHC est chargé de représenter avec précision les quadrillages du Loran-C sur les cartes marines. Le Groupe de la navigation était chargé d'étalonner les quadrillages Loran-C imprimés sur les cartes du SHC. La précision et la rigueur des procédés de collecte et d'analyse des données; les méthodes particulières mises au point pour gauchir les quadrillages afin de tenir compte des effets particuliers de la propagation des ondes sur terre, ont permis au SHC d'étendre les quadrillages jusqu'à la côte avec une précision acceptable.

Au fil des années, le Groupe de la navigation a aussi étudié la propagation du Hi-Fix au-dessus de l'eau et de la glace de mer, la propagation et la performance du Syledis, les trous dans la couverture du Mini-Ranger, la précision du Polar-Fix et de nombreux aspects de ces systèmes de positionnement radio, et d'autres.

À la fin de 1975 a été lancé le projet BIONAV (système intégré de navigation de l'IOB), destiné à combiner de façon optimale les résultats des nombreux systèmes de navigation utilisés à bord des navires de l'Institut. Quatre-vingts hydrographes et scientifiques, consultés pour l'établissement des spécifications du BIONAV, ont indiqué que la fiabilité, la simplicité et la souplesse d'entrée et de sortie étaient généralement pour l'utilisateur des caractères plus prioritaires que la précision. Au départ, le BIONAV combinait le système satellitaire Transit, le Loran-C rho-rho le loch et le gyro du navire. Il possédait une méthode particulière pour combiner les résultats d'un système de façon à vérifier ou à compléter les entrées des autres systèmes. Non seulement il éliminait la nécessité d'avoir en permanence une personne de quart pour la navigation, et un certain nombre de processus de vérification manuelle, sources d'erreurs, mais il apportait aussi une précision supérieure à celle des éléments pris séparément, et donnait un résultat plus fiable et plus constant, particulièrement lorsque la performance des divers éléments se dégradait.

À l'apogée du BIONAV, trois systèmes étaient utilisés sur les deux côtes, et au fil des années le dispositif a été mis en interface avec une vaste gamme de senseurs et de systèmes : Decca, Mini-Ranger, Omega, régime de l'hélice et angle du gouvernail, système hyperbolique Loran-C, NAVSTAR/GPS, etc. Une douzaine au moins de copies du logiciel et de la documentation ont été remises à des sociétés canadiennes, et il est vraisemblable que des parties du BIONAV servent aujourd'hui dans les divers systèmes présents sur le marché. Un dispositif BIONAV est encore utilisé à l'Institut, et il y restera probablement jusqu'au moment où le GPS sera entièrement opérationnel.

Le NAVSTAR, ou système global de positionnement (GPS) est un système satellitaire de radionavigation que met au point le ministère de la Défense des États-Unis. Lorsqu'il sera entièrement opérationnel, vers le début ou le milieu des années 1990, il va assurer en continu un positionnement avec une précision de 25 m, sur l'ensemble du globe, quel que soit le mouvement du véhicule. Le GPS aura un effet très important sur les sciences de la mer et les levés hydrographiques, aussi est-il nécessaire dès maintenant de se tenir au courant des derniers progrès réalisés et de découvrir les forces et les faiblesses du système avant qu'il entre en opération. À cette fin, le Groupe de la navigation a effectué plusieurs tests et s'est occupé de certains

L'hydrographe Graham Rankine trace les points d'étalonnage servant à l'établissement du quadrillage du Loran-C.

travaux faits à contrat. Les sujets étudiés sont l'efficacité du repérage de phase, l'exploitation par gros temps à bord de navires et de vedettes, les effets de trajectoires multiples (interférence des signaux renvoyés par la surface de la mer), l'emploi de satellites à faible altitude, la réfraction ionosphérique différentielle et la mise au point de modèles mathématiques pour intégrer les mesures de différence de code et de phase. À l'heure actuelle, il est clair qu'il sera possible d'obtenir une précision de 5 m. Il est aussi évident qu'il reste de nombreux problèmes à régler avant qu'un système adapté aux besoins de l'Institut devienne entièrement opérationnel.

Le SHC a commencé à la fin des années 1960 à recueillir et à traiter des données hydrographiques sous forme numérique. Dans les années suivantes, le service s'est activement occupé de développement, d'essai et de mise en service de systèmes d'acquisition de données numériques pour l'enregistrement et le traitement des données hydrographiques et pour le traitement des données numériques dans le processus de cartographie. L'intérêt des données numériques pour la mise à jour des cartes et leur emploi éventuel sur la passerelle ont, bien sûr, été reconnus. Cependant, c'est seulement avec l'essor récent de la technologie des microprocesseurs, des affichages graphiques rapides et à haute résolution et des dispositifs compacts, à haute densité et à grande capacité, de stockage des données numériques, que le concept de la carte électronique installée sur la passerelle du navire a pu être sérieusement envisagé. Ce concept suscite actuellement un intérêt considérable dans le monde entier. Les marins qui ont pu employer la carte électronique ont immédiatement reconnu son utilité puisqu'elle affiche ensemble la position, la carte marine et les images radar.

Afin d'évaluer l'impact sur le Service hydrographique du Canada de l'emploi des cartes électroniques, le Groupe de la navigation met au point un système prototype à contrat. Un certain nombre de difficultés techniques sont apparues, qui ont été résolues dans de nombreux cas, mais bien des problèmes plus vastes se posent maintenant : la méthode et le format du transfert des données, tant pour la carte originale que — aspect peut-être plus important —, pour les corrections; la responsabilité légale des bureaux hydrographiques dans le monde entier et des fabricants de la carte électronique; la structure de la base de données hydrographiques qui sera nécessaire pour établir les cartes électroniques de façon générale; etc. Cependant, le point le plus important est la nécessité de démontrer que les cartes électroniques constituent une aide sûre et fiable pour l'homme de quart du navire.

Positionnement acoustique

En recherche océanographique, il est souvent nécessaire de localiser des capteurs et des échantillonneurs sous la surface de l'eau. Les méthodes de positionnement décrites plus haut sont de peu d'utilité dans ce cas, car l'énergie électromagnétique et optique sur laquelle elles se fondent ne pénètre qu'à une très faible profondeur. On utilise plutôt des systèmes basés sur la propagation de l'énergie acoustique dans la gamme de fréquence allant de quelques unités à quelques centaines de kilohertz.

Il existe trois méthodes courantes de positionnement acoustique. Elles se fondent toutes sur une mesure du temps de propagation d'un signal acoustique entre la position inconnue et une série de balises, mais elles diffèrent essentiellement par les dimensions de la série de balises. Les systèmes à base longue (SBL) utilisent une batterie de sources acoustiques placées sur le fond marin à intervalles de centaines ou de milliers de mètres. Les transducteurs d'un système à base courte (SBC) sont généralement installés à quelques mètres les uns des autres sur un bateau de surface. Dans le système à base ultracourte (SBUC), les séries de transducteurs ont une dimension d'une fraction de mètre et sont aussi généralement montés sur un bateau.

Il y a un quart de siècle, les principes de fonctionnement de ces trois méthodes étaient déjà connus. La Scripps Institution of Oceanography utilisait un SBL-maison pour positionner son véhicule de levé géophysique dans les grands fonds; dans le cadre du projet Mohole, il était prévu d'utiliser un système combiné à base longue et courte pour assurer le positionnement dynamique du navire de forage. L'Institut océanographique de Woods Hole utilisait un SBC pour positionner des caméras dans les eaux profondes pendant les recherches menées pour retrouver un sous-marin, et la marine américaine utilisait un SBC dans ses zones d'essais de torpilles et d'impact de missiles. Personne ne semblait posséder un SBUC opérationnel, mais les travaux suivaient leur cours.

À l'IOB, il s'est passé peu de choses dans ce domaine jusqu'à environ 1969, année où s'est manifesté le besoin de positionner avec précision un dispositif de forage de roche dure en eau profonde. L'Institut a acheté un modèle ancien de SBL utilisé dans le secteur privé, qui a été connecté à un mini-ordinateur; des procédés de levé ont été élaborés, et le logiciel de positionnement mis au point. En 1970, le système a servi à localiser le site de six carottages et une station pour caméra sur la dorsale médio-atlantique, par 45° nord. Pendant cette décennie, le système a été utilisé pour positionner un profileur de courant à chute libre et un véhicule destiné à se déplacer sur le fond marin pour examiner l'épave d'une barge transpor-

tant du pétrole. Les chercheurs ont consacré des efforts considérables à évaluer la précision et à améliorer l'efficacité opérationnelle des méthodes de levé.

Parallèlement au travail avec le SBL, un système à base courte était conçu, fabriqué et testé. Il a servi pendant quelques années à positionner une version en eau peu profonde de la foreuse à roche dure, le long de la côte du Labrador et dans l'est de l'Arctique. Étant donné que l'installation et l'utilisation de notre SBL en mer n'étaient pas chose commode, nous avons essayé plusieurs fois d'acheter un système commercial à base ultracourte. Cependant, à cause des faiblesses des logiciels de traitement des signaux pendant cette décennie, aucun des systèmes n'a résisté à l'examen.

Lorsqu'on compare les systèmes actuels de positionnement à ceux qui étaient utilisés il y a un quart de siècle, le contraste est saisissant. C'est dans les années 1970 qu'ont été apportées les améliorations les plus notables. Les dispositifs de mesure du temps et d'enregistrement des SBL et des SBC sont passés de la réduction manuelle à l'échelle, des enregistrements graphiques, suivis de l'entrée des données sur ordinateur en différé, à des mesures simultanées entièrement automatisées avec affichage en temps réel des positions de sources acoustiques multiples. La répétabilité du SBL s'est améliorée, passant de 20 m à 10 cm, et maintenant les balises à autoétalonnage réduisent nettement le temps nécessaire pour le levé d'une série de balises. Mais le progrès le plus remarquable est peut-être l'apparition du SBUC à haute performance, fruit des grands progrès qui ont été réalisés depuis deux décennies dans la technologie du traitement des signaux. Le SBUC complète maintenant de façon idéale les systèmes à base longue. Par ailleurs, on ne fait pratiquement aucune recherche sur la méthodologie du positionnement acoustique. Les organismes de recherche s'occupent plutôt d'élaborer des expériences toujours plus complexes et exigeantes qui utilisent cette technologie. Pendant ce temps, les fabricants s'intéressent à améliorer la performance et la fiabilité de leur matériel et à réduire dimensions et coûts.

Il existe maintenant de nombreux systèmes commerciaux des trois types, et leur emploi s'est généralisé, non seulement dans le monde scientifique mais aussi dans le secteur commercial et industriel. Les systèmes de positionnement acoustique servent régulièrement à une vaste gamme d'applications, allant du repérage du déplacement des masses d'eau en plein océan à la mise en place précise des piles d'un pont dans un lac peu profond. Toutefois, l'apparition des systèmes de positionnement de haute qualité à l'échelle du monde a pratiquement éliminé l'emploi du positionnement acoustique en surface, sauf pour certains travaux à caractère très spécialisé.

En matière de positionnement acoustique, les travaux menés à l'Institut ont suivi cette évolution. Bien que le logiciel de SBL actuellement utilisé ne fasse pas appel à la technologie de pointe, il convient au travail effectué. Par exemple, les transpondeurs ne sont pas du type à autoétalonnage. On a toutefois trouvé le moyen d'utiliser une paire de transpondeurs sur chaque mouillage pour accomplir cette fonction. Il y a quelques années, le SBC maison a été remplacé par un système commercial de pointe qui a été rigoureusement testé en mer avant d'entrer en service pour le positionnement des systèmes de capteurs géophysiques remorqués et des échantillonneurs de fond. Nous avons aussi acheté récemment un SBUC dernier cri dont nous avons défini les paramètres de fonctionnement dans un milieu opérationnel. Nous avons mis au point des méthodes pour l'installer dans un berceau portatif sur le flanc du navire plutôt que dans une structure permanente à l'intérieur. On y a récemment intégré une source acoustique spécialement modifiée afin d'en faire un système efficace de relocalisation des mouillages de courantomètres. À l'heure actuelle, le SBC et le SBUC sont combinés en un système de positionnement destiné à suivre les bouées dérivantes de surface.

Références

ADE-HALL, J., AUMENTO, F., RYALL, P.J.C., GERSTEIN, R.E., BROOKE, J. et MCKEOWN, D.L. 1973. The Mid-Atlantic Ridge near 45° N. XXI. Magnetic results from basalt drill cores from the Median Valley. *Journal canadien des sciences de la terre* 10(5): 679-696.

BRUNAVS, P. et WELLS, D.E. 1971. Accurante phase lag measurements over seawater using Decca Lambda. Laboratoire océanographique de l'Atlantique, rapport n° 71-2.

CASEY, M., EATON, R.M., et KIELLAND, P. 1987. The Canadian Hydrographic Service GPS R&D Program. Compte rendu de la conférence bisannuelle du SHC et de l'AHC, Burlington.

DALBY, D.A. 1968. Decca navigation routines. Rapport interne. Institut de Bedford. Laboratoire océanographique de l'Atlantique. Computer Note 68-2-C.

EATON, R.M. 1966. The use of Hi-Fix hyperbolic. Rapport interne. Institut de Bedford. Service hydrographique du Canada.

EATON, R.M. 1981. Range errors in microwaves systems. Lighthouse. n° 32.

GRANT, S.T. 1977. A user developed integrated navigation system. Compte rendu, XV^{e} congrès de la Fédération internationale des géomètres, Commission 4, Stockholm: 99-113.

GRANT, S.T. et WELLS, D.E. 1982. Interactions among integrated navigation system components. *Marine Geodesy*, 7 (n° 1-4).

JANES, H.W., EATON, R.M., et WILSON, J. 1984. UHF Syledis for coastal survey positioning. Proceedings, National Ocean Service Biennial Conference, Norfolk, VA.

LONCAREVIC, B.D. 1969. Buoy plot as a survey aid: A data acquisition application. Trans. Appl. Seagoing Computers, Marine Tech. Soc.: 27-33.

MCKEOWN, D.L. 1971. Evaluation of an acoustic positioning system. 10^{e} Conférence Hydrographique annuelle du Canada, Dartmouth (N.-É.) : 195-205.

MCKEOWN, D.L. 1975. Survey techniques for acoustic positioning arrays. Navigation: Journal of the Institute of Navigation 22 (1): 59-67.

MCKEOWN, D.L., GEORGE, K.R. et YOUNG, S.W. 1980. Detection of oil-water interfaces in sunken oil tankers. IEEE Journal of Oceanic Engineering, OE-5, N° 4: 225-228.

MCKEOWN, D.L. 1984. ORE trackpoint acoustic range/bearing receiver evaluation. Rapport technique canadien de l'hydrographie et des sciences océaniques n° 47.

ROSS, D.I., WELLS, D.E., DOUGLAS, G.R., et EATON, R.M. 1970. Navigation at Bedford Institute. Laboratoire océanographique de l'Atlantique. Rapport n° 70-2.

WELLS, D.E. et ROSS, D.I. 1969. Experience with satellite navigation during the summer 1968. Laboratoire océanographique de l'Atlantique. Rapport n° 69-6.

WELLS, D.E., GRANT, S.T. et MCKEOWN, D.L. 1980. Accuracy of BIONAV, Compte rendu de la 19^{e} Conférence hydrographique du Canada, Halifax.

WELLS, D.E., LACHAPELLE, G., et GRANT, S.T. 1982. Enhanced offshore positioning system capabilities. Compte rendu du symposium de l'Association internationale de géodésie, Tokyo.

Fronts de marée et brassage

David A. Greenberg et Peter C. Smith

Dave Greenberg

DANS les collectivités côtières qui bordent la baie de Fundy et le golfe du Maine, le mode de vie est fortement influencé par les marées. Ces marées, qui sont les plus fortes du monde, ne font pas que restreindre le transport maritime indispensable : elles règlent la plupart des courants moyens, jouent un rôle important dans la productivité de la pêche dont dépendent bon nombre d'habitants, et peuvent même avoir une influence notable sur le climat local. Dans le golfe du Maine, les grandes pêcheries de morue, d'aiglefin, de hareng, de homard et de pétoncle, se trouvent toutes dans des zones de brassage maréal intense ou à leur proximité. Le mélange des eaux froides maintient une basse température de l'air au printemps et en été et favorise la formation de brouillards. En hiver, le brassage maréal peut empêcher la formation de glace, l'eau de surface réchauffe alors l'air de la zone littorale. Depuis 25 ans, l'Institut participe à l'étude d'envergure partant sur le mélange des eaux océaniques effectué par les marées et la forte influence de ce phénomène sur les zones de pêches très productives.

Premiers travaux

Grâce aux outils de la technologie moderne, par exemple l'imagerie satellitaire dans l'infrarouge (fig. 1), nous pouvons faire des observations détaillées qui nous donnent un tableau précis des températures superficielles dans le golfe du Maine. De là, par induction, le brassage maréal. Le travail des pionniers Huntsman (1924) et Bigelow (1927) se fondait sur des données moins complètes, mais l'image qui émergeait déjà (fig. 2a) n'a pas vraiment changé. Les observations effectuées par Huntsman dans la baie de Fundy ont été intégrées au traité de Bigelow sur le golfe du Maine. Dans les deux cas, les zones de mélange intense ont été délimitées, et l'importance de la marée dans ce brassage nettement mise en évidence. Le résumé détaillé des observations de Hachey (1952) en baie de Fundy l'a souligné de nouveau. Sur le plateau continental européen, on considérait aussi le brassage maréal comme un facteur

Image satellitaire à l'infrarouge de la baie de Fundy et du golfe du Maine illustrant la température de surface. Les zones bien mélangées par les marées (partie supérieure de la baie de Fundy, au large de la Nouvelle-Écosse, au-dessus du Banc George) contrastent fortement, quant à la température, avec les eaux avoisinantes.

important dans les caractéristiques de l'eau, par exemple les basses températures superficielles de la Manche, qui provoquaient la formation de brouillards dans la région.

Depuis l'établissement de l'Institut, les progrès réalisés en deux directions ont permis aux scientifiques de dépasser l'approche qualitative et descriptive des années antérieures. L'une fut l'amélioration des instruments qui permettent maintenant des observations beaucoup plus détaillées.

L'autre, a été l'élaboration d'une théorie permettant de prédire la présence d'un front entre régions de mélange et régions stratifiées lorsque l'on connaît la force des courants de marée et la profondeur de l'eau. Grâce à ces progrès, la relation entre le brassage maréal et la richesse des zones de pêche fut mise en évidence.

Instruments

Les observations de Huntsman, Bigelow et Hachey se fondaient principalement sur des données relevées à la bouteille et au thermomètre. Ces données servaient à calculer les profils de salinité et de température à des stations en général distantes de plusieurs kilomètres et avec une résolution verticale de 5 m ou plus. Lorsque Simpson et Hunter (1974) ont pour la première fois élaboré la formule qui délimitait le front séparant les eaux brassées des eaux stratifiées (voir plus loin la partie « Théorie et modélisation »), ils ont pu confirmer leurs prévisions à l'aide des données recueillies par un thermomètre à radiation aéroporté donnant la température de surface tous les 50 m, et celles fournies par une sonde CTP (conductivité, température, profondeur) permettant d'enregistrer des variations verticales de quelques centimètres. Dans des études ultérieures menées sur place (p. ex. Denman et Herman, 1978), les scientifiques ont pu utiliser un nouvel appareil appelé BATFISH, engin remorqué à mouvement ondulant qui porte une sonde CTP permettant de profiler les couches superficielles de l'océan. Le BATFISH offre une bonne résolution aussi bien dans le plan vertical (jusqu'à une profondeur de 400 m) que dans le plan horizontal; cet appareil a permis de bien définir la structure du front qui sépare les zones de mélanges des autres. Dans des études plus récentes (p. ex. Simpson et Bowers, 1979), l'imagerie satellitaire infrarouge a servi à donner un tableau instantané des températures de surface, qui reflète souvent les variations de stratification dues au brassage maréal (fig. 1).

L'Institut océanographique de Bedford travaille depuis les tout débuts à la mise au point des sondes CTP, en collaboration avec le Conseil national de recherches du Canada et la société Guildline Instruments Ltd. Puis les travaux ont porté sur les systèmes de contrôle du mouvement et les capteurs (Dessureault, 1976). Les mesures très précises de l'oxygène dissous, la fluorescence (mesure de la biomasse) et les capteurs optiques et électriques qui comptent les particules planctoniques tout en mesurant des variables physiques contribuent à montrer comment la productivité primaire est liée au brassage maréal (Herman et Denman, 1977).

Théorie et modélisation

Un pas important dans la théorie du brassage maréal a été réalisé par Simpson et Hunter (1974). Dans des travaux antérieurs, Simpson attribuait le brassage en mer d'Irlande aux courants de marée, mais l'analyse de 1974 a montré que la limite ou le front entre les zones bien mélangées et stratifiées se situait là où le paramètre h/U^3 (h étant la profondeur et U l'amplitude du courant de marée) était constant. Ce paramètre est proportionnel au rapport entre le taux de production de stratification produite par différence de densité et le taux de destruction de cette stratification par brassage maréal et dissipation d'énergie. Le front se produit lorsque les deux taux sont égaux. On pose comme hypothèse que les apports qui causent les différences de densité — réchauffement solaire ou écoulement d'eau douce — sont relativement uniformes dans la région, de sorte que les variations horizontales de stratification sont régies principalement par le rapport de la profondeur à la dissipation d'énergie. La profondeur et le courant sont à la base de la formulation des modèles numériques barotropiques de l'océan. Garrett *et al.* (1978) (fig. 2b) ont utilisé le modèle de la baie de Fundy et du golfe du Maine qui avait servi aux études sur l'énergie marémotrice (Greenberg, 1979), pour examiner les variations du paramètre de brassage dans la région, et ont trouvé une assez bonne correspondance entre la théorie et les observations. D'autres études ont montré une concordance similaire dans les eaux européennes et dans d'autres mers canadiennes (Pingree et Griffiths, 1980; Griffiths *et al.*, 1981).

À mesure que ces études avançaient, il devenait évident que les zones de brassage maréal intense étaient souvent associées aux terrains de pêche les plus riches ou aux frayères (p. ex. Iles et Sinclair, 1982). Le mécanisme théorique de ce phénomène a été mis en évidence par des observations provenant de diverses régions (Pingree *et al.*, 1978, Denman et Herman, 1979, Fournier *et al.*, 1984). Les nutriments essentiels à la croissance du phytoplancton sont apportés du fond et mélangés dans toute la colonne d'eau par les marées. Dans les zones peu profondes, ou les secteurs plus calmes proches d'une zone de mélange, où ces nutriments restent assez longtemps en zone euphotique (eau peu profonde où la lumière solaire peut pénétrer), la photosynthèse peut se produire et le phytoplancton se développer. Cette production primaire constitue la première étape de la chaîne trophique. Autour du golfe du Maine, on trouve des concentrations stables et diverses de créatures marines établies dans des zones de brassage spécifiques. Une zone de ce type se trouve près de l'île Brier, dont les eaux sont, à la fin de l'été, riches en zooplancton, krill (crevettes), oiseaux, poissons, phoques et baleines. Dans des eaux plus nordiques, Sutcliffe *et al.* (1983) ont décrit l'évolution de la chaîne trophique, à partir de son début dans le détroit d'Hudson par brassage maréal. Les auteurs suivent cette évolution à l'intérieur d'une masse d'eau donnée qui se déplace avec les courants moyens, jusqu'aux grands stocks de morue qui se trouvent dans la partie sud du plateau du Labrador.

Le paramètre de mélange a été examiné de divers points de vue. Garrett *et al.* (1978) ont trouvé qu'au front de marée, 0,26% seulement de l'énergie dissipée par frottement était utilisée dans le processus de mélange. L'efficacité du mélange était réduite dans les eaux stra-

tifiées; le front ne suivait donc pas strictement les variations des marées de vive-eau et de morte-eau (Simpson et Bowers, 1979; Loder et Greenberg, 1986). Les études ont aussi montré que les vents peuvent jouer un rôle majeur dans l'étendue des zones de mélange. Celles que Loder et Greenberg (1986) ont réalisées dans le golfe du Maine (fig. 2c) ont tenté de décrire avec plus de précision les processus qui causent le brassage maréal. Pour eux, les données existantes ne permettaient pas de choisir entre le paramètre de mélange h/U^3 et d'autres critères fondés sur le bilan énergétique près de la surface ou sur l'épaisseur de la couche de fond d'Ekman.

L'avenir

Malgré la récente augmentation de la quantité et de la précision des données, la vérification des nouvelles théories va nécessiter des données encore plus nombreuses et de meilleure qualité. À l'Institut océanographique de Bedford, la mise au point des instruments et la théorie se développent conjointement. La variabilité spatiale et temporelle de la turbulence sur les fronts de marée et dans les zones de brassage maréal est étudiée à l'aide d'instruments d'avant-garde qui peuvent mesurer les changements de la température et de la vitesse à des échelles de l'ordre de quelques millimètres. L'installation de traitement des images à l'Institut pourra synthétiser les données fournies par la génération montante de capteurs satellitaires qui promet de donner un tableau détaillé de l'activité biologique sur de vastes zones. Les modèles se perfectionnent de plus en plus, devenant tridimensionnels. Les chercheurs de l'Institut vont ainsi continuer à apporter une contribution intéressante à l'étude du brassage maréal.

Références

BIGELOW, H.B. 1927. Physical oceanography of the Gulf of Maine. U.S. Department of Commerce, *Bureau of Fisheries Document* 969: 511-1027.

DENMAN, K.L. et HERMAN, A.W. 1978. Space-time Structure of a continental shelf ecosystem measured by a towed porpoising vehicle. *Journal of Marine Research* 36: 693-714.

DESSUREAULT, J.-G. 1976. "Batfish", A depth controllable towed body for collecting oceanographic data. *Ocean Engineering* 3: 99-111.

FOURNIER, R.O., VAN DET, M., HARGRAVES, N.B., WILSON, J.S., CLAIR, T.A., et ERNST, R. 1984. Physical factors controlling summer distributions of chlorophyll A off southwestern Nova Scotia. *Limnology and Oceanography* 29: 517-526.

GARRETT, C.J.R., KEELEY, J.R. et GREENBERG, D.A. 1978. Tidal mixing versus thermal stratification in the Bay of Fundy and Gulf of Maine. *Atmosphere - Ocean* 16: 403-423.

GREENBERG, D.A. 1979. A numerical mode investigation of tidal phenomena in the Bay of Fundy and Gulf of Maine. *Marine Geodesy* 2: 161-187.

GRIFFITHS, D.K., PINGREE, R.D., et SINCLAIR, M. 1981. Summer tidal fronts in the near-arctic regions of Foxe Basin and Hudson Bay. *Deep-Sea Research*, 28A(8): 865-873.

HACHEY, H.B. 1952. The general hydrography of the waters of the Bay of Fundy. Office des recherches sur les pêcheries du Canada, rapport manuscrit 455: 100 p. (révisé par H.B. Hachey et W.B. Bailey).

HERMAN, A.W. et DENMAN, K.L. 1977. Rapid underway profiling of chlorophyll with an *in situ* fluorometer mounted on a "Batfish" vehicle. *Deep-Sea Research* 24: 385-397.

ILES, T.D. et SINCLAIR, M. 1982. Atlantic Herring: Stock discreteness and abundance. *Science* 215: 627-633.

LODER, J.W. et GREENBERG, D.A. 1986. Predicted positions of tidal fronts in the Gulf of Maine regions. *Continental Shelf Research* 6(3): 397-414.

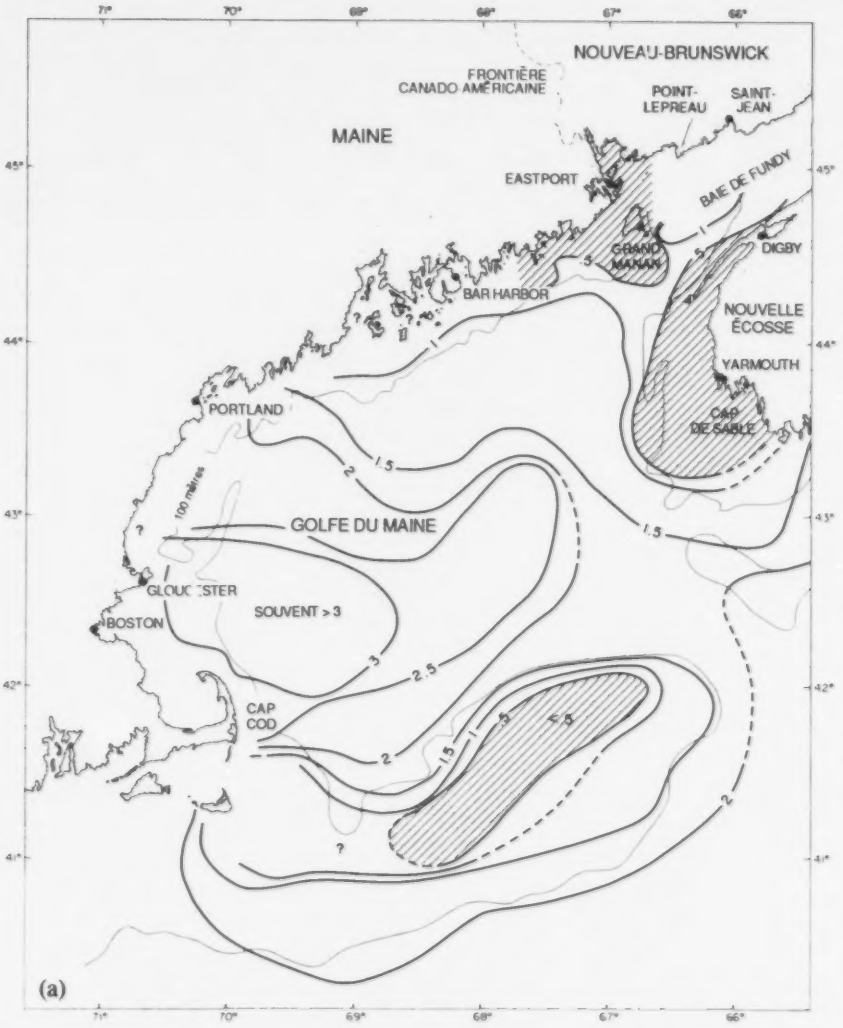
PINGREE, R.D. et GRIFFITHS, D.K. 1980. A numerical model of the M_2 tide in the Gulf of St. Lawrence. *Oceanologica Acta* 3(2): 221-225.

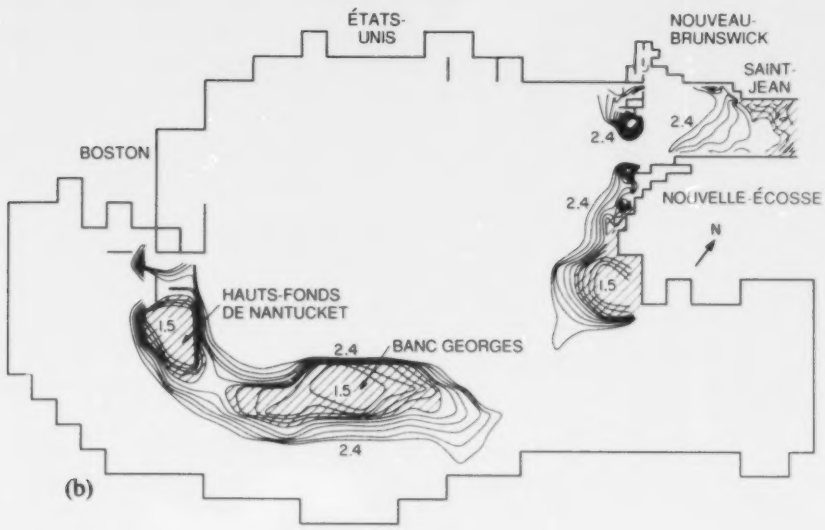
PINGREE, R.D., HOLLIGAN, P.M., et MARDELL, G.T. 1978. The effects of vertical stability of phytoplankton distributions in the summer on the northwest European Shelf. *Deep-Sea Research* 25: 1011-1028.

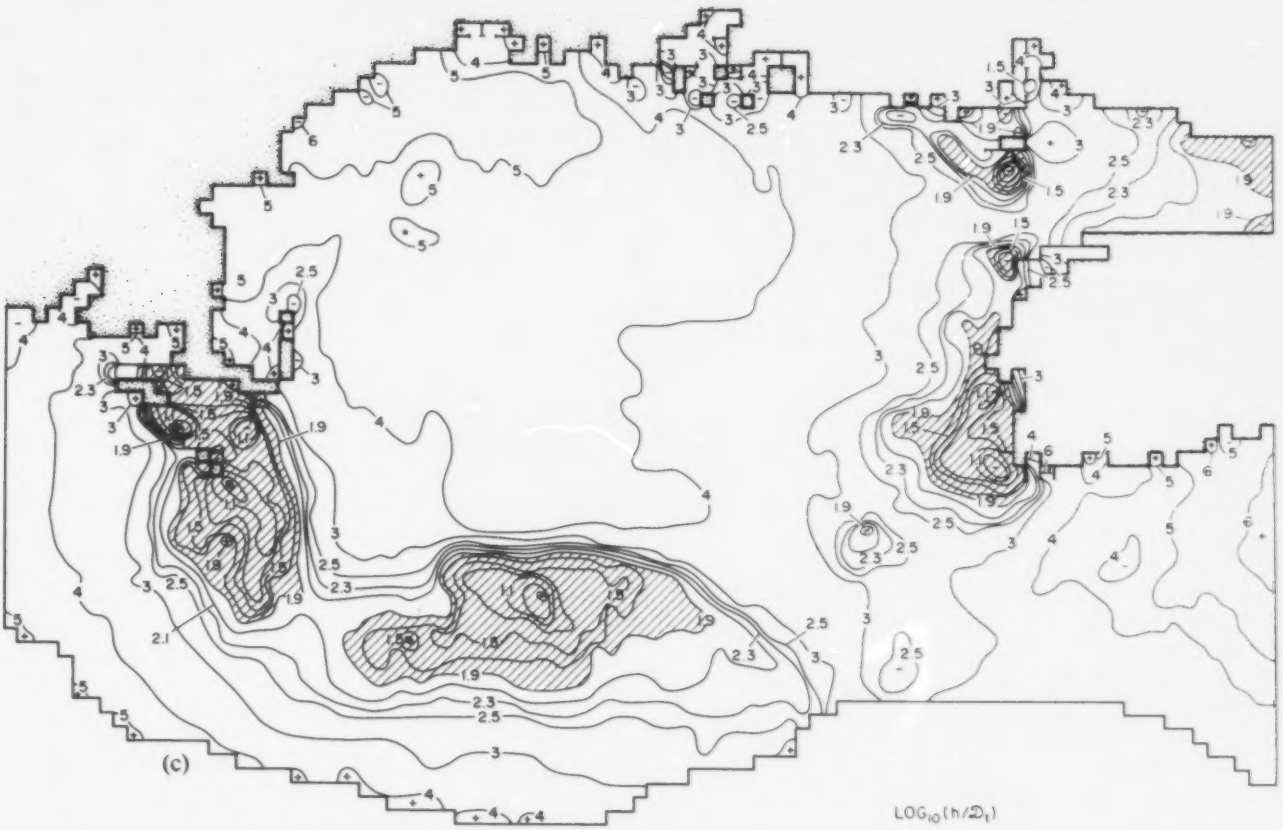
SIMPSON, J.H. et BOWERS, D. 1979. Shelf sea fronts adjustments revealed by satellite IR imagery. *Nature* 280: 648-651.

SIMPSON, J.H. et HUNTER, J.R. 1974. Fronts in the Irish Sea. *Nature* 250: 404-406.

SUTCLIFFE, W.H., Jr., LOUCKS, R.H., DRINKWATER, K.F. et COOTE, A.R., 1983. Nutrient flux onto the Labrador Shelf from Hudson Strait and its biological consequences. *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques* 40: 1692-1701.







Zones de brassage marial dans le golfe du Maine identifiéés et processées par a) Bigelow (1927), le zones de brassage figurent, avec des différences de densité de 0,5Kg./m_3 ou moins, b) Garret, Keeley et Greenberg (1978), c/Loder et Greenberg (1986) : les zones bien mélangées—- paramètre de mélange inférieur à 1,9. — ressortent sur le modèle numérique.

Le climat océanique

R. Allyn Clarke et Fred W. Dobson

Allyn Clarke

Fred Dobson

Au cours des années soixante, un débat pacifique mettait aux prises les physiciens océanographes : devait-on rebaptiser leur domaine « océanologie » pour marquer la transition entre la cartographie des océans et la science de l'océan? Aujourd'hui, dans les années quatre-vingts, en dépit du fait que nous possédons des connaissances beaucoup plus approfondies sur un bon nombre de processus de circulation et de brassage des eaux océaniques, il semble évident que nous demeurerons des océanographes de nom, et dans une large mesure, en titre, pendant au moins quelques autres décennies. Un grand nombre de nos idées actuelles sur la façon dont l'océan réagit aux phénomènes atmosphériques sont fondées sur des interprétations de schémas construits selon les données plutôt rares à provenir des programmes maritimes des organismes océanographiques.

L'année de la création de l'IOB, Worthington (1962) publiait une interprétation originale de la circulation de l'Atlantique Nord. Il prétendait que le Gulf Stream, au sud-est des Bancs de Terre-Neuve, s'orientait vers le sud, et que les eaux qui s'écoulaient au nord-est à travers l'Atlantique Nord en direction de l'Europe, faisaient partie d'un second courant giratoire. Worthington avait basé son hypothèse sur deux observations. Premièrement, dans l'Atlantique central, comme à l'intérieur des tourbillons subtropicaux de tous les océans, à quelques centaines de mètres de profondeur, se trouve une épaisseur marine où la teneur en oxygène est minimale. Cette teneur augmente au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la mer des Sargasses en direction nord, au-delà de la queue du Grand Banc de Terre-Neuve, jusque dans le bassin de Terre-Neuve et de là dans le bassin du Labrador. Si les eaux du Gulf Stream montaient en droite ligne en doublant l'angle sud-est du Grand Banc, selon Worthington, la teneur minimale en oxygène dans la couche considérée ne devrait pas changer quand le courant est aussi puissant que le Gulf Stream.

Worthington a ensuite examiné les données recueillies le long d'une section de stations hydrographiques réparties du sud-ouest au nord-est, à travers la crête topographique du sud-est de Terre-Neuve, qui s'étend dans cette direction à partir de la queue du Grand Banc vers la dorsale médio-atlantique. Il a constaté la présence d'une fosse d'eau froide, à faible salinité, au-dessus de l'axe de la crête séparant les eaux du type de la mer des Sargasses au sud-ouest par rapport aux eaux plus froides du courant nord-atlantique au nord-est.

Cette nouvelle théorie (fig. 1) entraî-

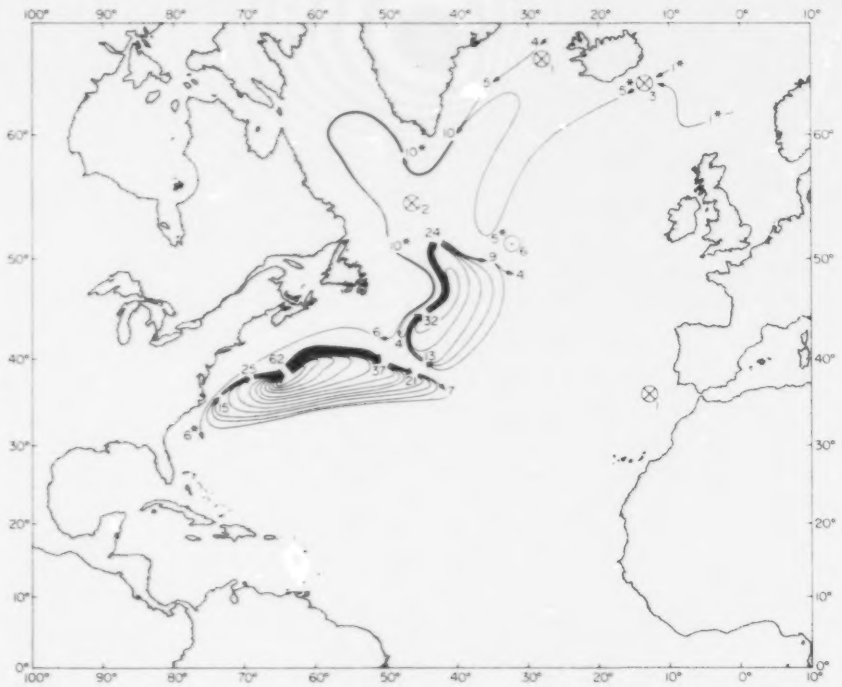
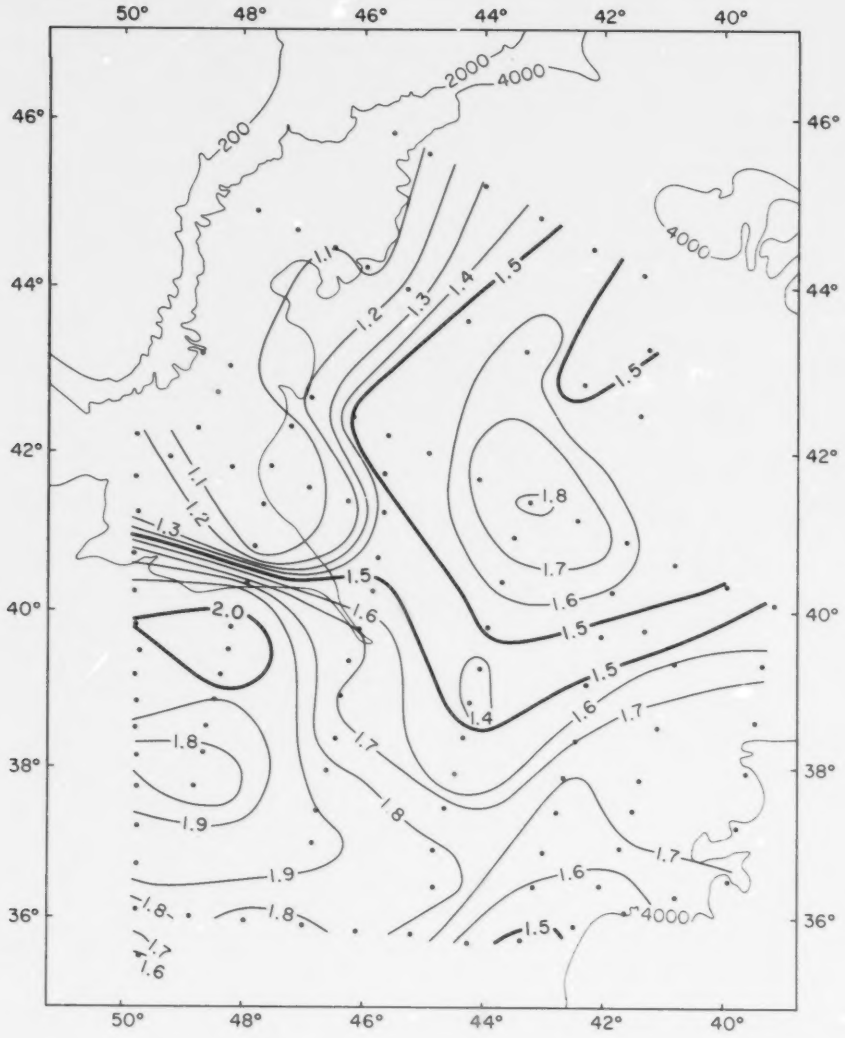


Figure 1 a) Circulation profonde (0° à 4°C) dans l'est de l'Atlantique Nord d'après Worthington (1976). Remarquer la séparation complète de l'écoulement en deux tourbillons au large de la queue du Grand Banc. b) Topographie dynamique dans la région de la queue du Grand Banc (Clarke et al., *1980). Remarquer la subdivision du Gulf Stream en deux composantes, l'une s'écoulant vers le nord, l'autre vers l'est.*



nait de sérieuses répercussions sur l'interprétation du comportement de l'océan Atlantique dans le cadre du système climatique global. Pendant des années, les professeurs de géographie ont enseigné à des millions d'écoliers que l'Europe jouissait d'un climat plus doux que l'est de l'Amérique du nord en raison de la chaleur diffusée par le Gulf Stream depuis le golfe du Mexique en direction nord-est à travers l'Atlantique. Si l'hypothèse de Worthington se tenait, il en résulterait que les eaux qui réchauffent l'Europe devraient s'élever aux latitudes tempérées plutôt que tropicales, ou bien être transférées du Gulf Stream au courant nord-atlantique selon un processus de plus faible envergure, le mélange par exemple. Les difficultés sont allées plus loin que la question de savoir d'où venait la chaleur des eaux superficielles du courant de l'Atlantique Nord. Dans les mers nordiques, au nord de l'Islande, en hiver, l'eau est refroidie jusqu'à atteindre une densité élevée, supérieure à celle des eaux du sud. Elles s'écoulent par dessus les dorsales reliant le Groenland à l'Islande, vers les îles Féroé, puis les Shetland, pour ensuite s'acheminer vers l'équateur en un courant de fond bien identifié qui suit le bas du talus continental du Groenland et de l'Amérique du Nord. Ce flux d'eaux profondes vers le sud doit être remplacé par d'autres eaux s'écoulant vers le nord. C'était le Gulf Stream, avant Worthington. Les océanographes avaient donc à prouver que l'hypothèse était fausse, à moins d'avancer de nouvelles idées sur la façon dont l'océan règlait la circulation de ses eaux et diffusait sa chaleur vers le nord.

Steele *et al.*, (1962) et Volkman (1962) ont tous deux établi des mesures de grande importance pour la circulation dans l'Atlantique Nord en combinant les estimations de vitesse obtenues par la nouvelle technique de poursuite des bouées à flottabilité neutre et des coupes hydrographiques classiques. Le premier article fait état des mesures prises au sud de l'Islande où les flotteurs ont été lâchés dans les eaux profondes sortant de la mer de Norvège en travers de la dorsale Islande-Féroé et s'écoulant en direction ouest, au sud de l'Islande. Le deuxième rapport traite de l'écoulement direction sud, le long du bas du talus continental, au sud du cap Cod. Ces deux articles nous donnent encore aujourd'hui, sur le transport des eaux profondes vers l'équateur dans l'Atlantique Nord, deux des estimations sur le petit nombre disponible.

Parallèlement la modélisation n'en était encore qu'à ses débuts. Eriksson (1962) a utilisé certaines données sur les radionucléides qui commençaient à sortir. Il a créé un simple modèle de boîte figurant l'océan, qui lui a permis d'évaluer les taux de mélange et les durées de résidence. Une grande part de nos théories actuelles sur les taux d'échange des eaux abyssales de l'océan sont basées sur des séries de données et des modèles de boîte qui sont le fruit de travaux similaires.

Les rapports publiés de 1962 concernaient des travaux qui avaient été achevés plusieurs années auparavant. D'après les condensés du procès-verbal de l'assemblée de l'American Geophysical Union (AGU) du printemps 1962, il semble qu'une forte proportion des physiciens océanographes concentraient leur attention sur les régions équatoriales où l'on explorait alors les propriétés du sous-courant équatorial récemment redécouvert. Signalons aussi un rapport (Wennekens, 1962) à propos d'un instrument capable de mesurer, sur une base continue, la vitesse du son et la température en fonction de la profondeur au fur et à mesure qu'on l'enfonçait. C'était une première étape vers les sondes CTP, bien que les ingénieurs aient vite établi qu'il était plus facile de

mesurer la conductivité que la vitesse du son au degré de précision requis pour les mesures hydrographiques. Robinson (1962) a analysé la possibilité d'appliquer l'analyse objective sur ordinateur aux variations saisonnières des températures de la couche supérieure du Pacifique Nord, à partir des données du bathythermographe (BT).

En dernier lieu, Bryan (1962) a communiqué les résultats de calculs effectués sur le transport de chaleur à travers diverses latitudes dans chacun des océans, en se basant sur les flux thermiques à travers la surface de la mer et les profils hydrographiques.

En 1987, 25 ans plus tard, la communauté océanographique mondiale entame la troisième année (TOGA) d'une étude des couches supérieures des océans tropicaux et de leurs rapports avec la dynamique globale de l'atmosphère; elle amorce en même temps l'étape d'une expérience océanique globale (WOCE) visant à rassembler des données et à élaborer des modèles qui nous donneront mesure de toutes les composantes importantes de la circulation des eaux océaniques et de leurs interactions avec l'atmosphère. Dans chacune de ces expériences, nous ferons fortement appel à des techniques telles que les bouées à flottabilité neutre, les sondes CTP et l'analyse objective de séries de données sur une vaste échelle par ordinateurs lançés il y a juste un quart de siècle. En outre, ces expériences réalisées sur une grande échelle dépendent de concepts découlant de programmes expérimentaux exécutés par divers organismes et groupes d'organismes au cours des années.

De nombreuses expériences régionales se sont déroulées avec le concours de l'IOB. L'une des premières zones de recherche des physiciens océanographes de l'IOB se situait près de la queue du Grand Banc. À la suite des deux grandes expéditions océanographiques en 1963 et 1964, Mann (1967) a proposé un nouveau modèle de circulation dans cette région, dans lequel une partie considérable des eaux du Gulf Stream contournait le Grand Banc pour rejoindre le courant nord-atlantique. Un dernier projet en 1972, impliquant trois navires et trois organismes (l'IOB, le WHOI et le Fisheries Laboratory, de Lowestoft, R.-U.), combinant des mouillages profonds, des stations hydrographiques d'analyse des nutriments et de la teneur en oxygène (fig. 1b), et de vastes relevés au bathythermographe à sonde perdue, a permis d'établir que le modèle de circulation proposé par Mann (1967) était le plus probable (Clarke *et al.*, 1980).

Une grande partie des eaux océaniques profondes, à des profondeurs supérieures à deux kilomètres, s'enfonce à ces profondeurs par refroidissement de la surface aux hautes latitudes de l'Atlantique Nord. À la fin des années 1960, l'IOB a mené une extensive série d'observations hivernales de la température et de la salinité aux alentours du Groenland, depuis le détroit de Davies jusqu'au détroit du Danemark (Lazier, 1973). Cette campagne n'a nullement permis d'établir une preuve directe du renouvellement des eaux intermédiaires et profondes par convection profonde à partir de la surface, mais l'ensemble des données consistant en une série de coupes rayonnant à partir du Groenland, du détroit de Davies jusqu'au détroit du Danemark en contournant le cap Farewell, a été utilisé par plusieurs théoriciens pour élaborer des schémas d'analyse objective destinés à déterminer les champs de vitesse absolue à partir des données hydrographiques et de l'emploi de traceurs.

Au cours de cette campagne d'hiver, un essai a été effectué par le WHOI pour mesurer la vitesse des eaux profondes déversées au-dessus d'un seuil sous-marin dans le détroit du Danemark pour se rendre jusque dans les grands fonds de l'Atlantique Nord. Cette tentative s'est essentiellement soldée par un échec, car des courants d'une force inattendue ont entraîné les dispositifs de mouillage au-dessous de leur profondeur de flottabilité. Cinq ans plus tard, l'IOB réussissait à maintenir une batterie d'instruments dans le détroit du Danemark pendant un mois. Cette opération était une contribution du Canada au projet multinational Overflow 72, coordonné par le Conseil international pour l'exploration de la mer (CIEM). Ces relevés nous fournissent les meilleures estimations du volume des eaux profondes pénétrant dans l'Atlantique Nord et de leurs caractéristiques de température et de salinité. Le dernier aspect de ces mesures est particulièrement important puisqu'il a révélé que le plus grand volume d'eaux excédentaires passant le détroit du Danemark n'était pas constitué par les eaux de fond très denses qui se forme dans la mer de Norvège, mais plutôt par les eaux intermédiaires moins denses constituées juste au large du courant est-groenlandais dirigé vers le sud par-dessus le plateau du Groenland oriental, et qui sert d'exutoire aux eaux froides de faible salinité en provenance de l'océan Arctique. Le projet de mouillages Overflow 72 permettra de planifier la batterie de mouillages requis dans les années 1990 par le WOCE pour mesurer l'apport d'eaux profondes dans l'Atlantique Nord.

Depuis cette épique croisière hivernale menée aux alentours du Groenland, la mer du Labrador est certainement devenue la zone d'élection de l'IOB. En 1976, une nouvelle expédition hivernale de l'IOB dans la mer du Labrador a donné lieu à des observations sur les courants de convection profonde, à des profondeurs de près de 2 km, démontrant ainsi d'une manière concluante que la mer du Labrador, masse d'eaux intermédiaires présentes dans la majeure partie du nord-ouest de l'Atlantique Nord, est créée par convection profonde résultant du refroidissement atmosphérique des couches de surface de l'océan (Clarke et Gascard, 1983). Les eaux de la mer du Labrador, nouvellement formées, étaient plus froides et moins salées, quoique de même densité, que celle des eaux observées dans la mer du Labrador dix ans auparavant. Une analyse effectuée par Lazier (1980) sur les données océanographiques recueillies par la US Coast Guard à partir de la station météorologique océanique *Bravo*, dans le centre de la mer du Labrador, a révélé qu'a la fin des années soixante, des eaux de surface de faible salinité étaient apparues et avaient arrêté la convection profonde en raison de leur densité plus faible. Finalement, la convection profonde s'est produite au cours de l'hiver extrêmement rigoureux de 1972, transférant le signal de faible salinité aux couches plus profondes. C'est

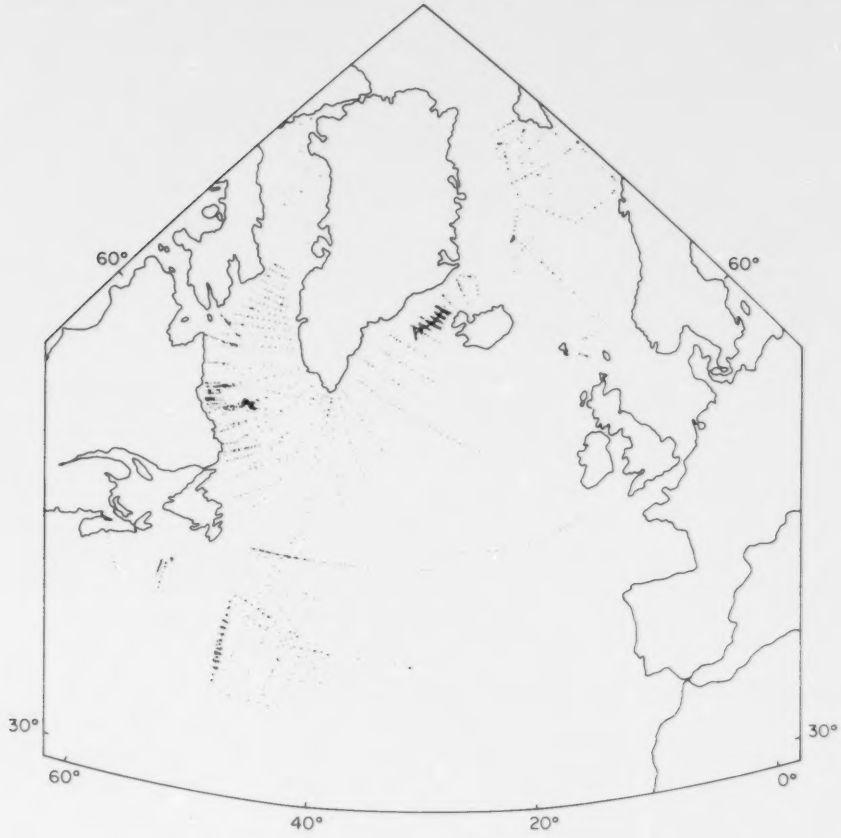


Figure 2 Stations hydrographiques/emploi de traceurs, effectuées par l'IOB dans l'Atlantique Nord pour des projets de recherche sur le climat à grande échelle depuis 1966.

cette couche de surface à faible salinité qui a entraîné l'apparition d'eau froide à très faible salinité de la mer du Labrador que l'on a observée en 1976.

Avant ces observations, les océanographes avaient eu tendance à supposer par induction que des masses d'eau identifiées et uniques, comme celle de la mer du Labrador, conservaient leurs caractéristiques de température/salinité sur de longues périodes. Après tout, les stations observées par Challenger voici plus de 100 ans indiquaient essentiellement les mêmes masses d'eau que les stations modernes. L'idée qu'une masse d'eau intermédiaire telle que celle de la mer du Labrador pouvait changer radicalement en une décennie seulement modifiait sérieusement les méthodes d'échantillonnage des océanographes. Des échanges au sein du Groupe de travail sur l'hydrographie marine du CIEM ont révélé que la formation d'eaux de faible salinité s'était produite partout dans l'Atlantique Nord sub-polaire au cours des années soixante et soixante-dix. Le moment de leur apparition en divers endroits au voisinage du tourbillon donne de précieux renseignements sur sa vitesse de circulation et sur le taux d'échange vertical de l'eau à des niveaux plus denses. Ce signal a même été décelé dans les déversements d'eaux profondes à travers le détroit du Danemark dans l'Atlantique Nord.

Un programme climatique valable exige non seulement une connaissance de l'état de l'océan, mais également un moyen de mesurer le « momentum », les flux de chaleur et d'humidité entre l'océan et l'atmosphère qui sont les éléments moteurs des phénomènes de circulation. En 1962, les océanographes et les météorologues estimaient ces flux à l'aide de formules empiriques qui les mettaient en relation avec les propriétés de base des milieux, comme la vitesse du vent, la température de l'air et de la mer, etc. En 1963, M.I. Budyko faisait paraître son célèbre « Atlas of the Heat Balance of the Earth » (atlas du bilan thermique de la terre), qui utilisait ces formules de base pour établir un bilan global détaillé, impliquant la condition expresse que ce bilan s'équilibre sur une année. Le bilan de Budyko est encore appliqué dans des régions où des estimations plus précises des flux sont inexistantes (par ex. l'océan austral).

Entre-temps, la théorie de la turbulence avait suffisamment progressé dès 1962 pour qu'un certain nombre de groupes envisage de faire des mesures directes en « momentum » et des flux de chaleur et d'humidité. À l'époque, les Russes avaient jeté les bases de cette recherche (Monin et Oboukhov, 1960; Gurvich, 1961) et étaient devenus les chefs de file en ce domaine, mais les Allemands (p. ex. Roll, 1963) de même que deux groupes au Canada : l'un à l'UBC (Pond *et al*, 1963) et l'autre à l'IOB (Doe, 1963) se montraient entreprenants.

Kelly Bentham

Roger Cassivi et George Fowler vérifient les composantes électroniques d'une bouée de prévision des glaces servant à contrôler par satellite l'englacement annuel du golfe du St-Laurent.

De 1960 à 1980, une forte collaboration s'est établie entre les deux groupes canadiens. Doe, et après lui Smith, ont mis au point un anémomètre mesurant la poussée du vent, utilisable en haute mer. Après l'avoir monté sur une bouée à espar stabilisée, l'IOB a obtenu les premières mesures de la tension du vent et du flux thermique en cas de tempête (Smith, 1980), encore largement citées aujourd'hui. Un petit mât, installé sur les rivages de l'île de Sable, a livré la série la plus complète de mesures de flux de l'humidité qui ait été publiée à ce jour (Anderson et Smith, 1981).

Par ailleurs, face aux graves sécheresses survenues au Sahel et devant la crainte de « l'effet de serre » causé par le CO^2 atmosphérique d'origine industrielle, l'OMM, le CIUS, la COI et le SCOR ont décidé de mettre en oeuvre un Programme de recherche sur le climat mondial (PRCM) dont l'objectif consiste à le saisir suffisamment pour pouvoir en établir la modélisation et la prévision. Dès les débuts, l'IOB a participé à la planification du PRCM. L'étape décisive à franchir en vue de cette compréhension globale du climat consiste à bâtir des expériences-clefs visant à quantifier les diverses composantes du système climatique. Actuellement, les divergences entre océanographes et météorologues sont encore profondes quant aux proportions de chaleur transportée vers les pôles par l'atmosphère et l'océan à divers degrés de latitude.

L'IOB a joué un rôle de premier plan dans la coordination d'une étude de faisabilité visant à déterminer s'il serait possible de mesurer le transport de chaleur méridionale d'un océan avec une précision suffisante pour entraîner une modélisation du climat (10 Watts/m en moyenne sur l'Atlantique Nord; Dobson *et al.*, 1982). Cette étude examinait trois techniques possibles : intégration régionale des flux de surface; bilan du rayonnement solaire, du transport et du stockage de chaleur atmosphérique et océanique (le transport de chaleur océanique méridionale constituant un phénomène résiduel); enfin détermination océanographique directe des flux sur un parallèle. Aucune de ces techniques ne s'est révélée satisfaisante, pour une raison ou pour une autre, et le PRCM se trouve ainsi dans l'obligation d'entreprendre, de toute urgence, des travaux de recherche sur certains phénomènes d'importance. L'IOB mène actuellement des études portant sur l'amélioration des formules de base. Le programme HEXOS (Échange d'humidité au-dessus des mers; Smith et Katsaros, 1983) a fourni les premières mesures en haute mer des flux d'humidité par gros temps. Dobson et Smith (1985) ont réévalué la précision avec laquelle on peut corriger le rayonnement solaire sur la surface de la mer en fonction de l'effet de la couverture nuageuse, conformément à la description des codes standard de nuages de l'OMM.

Le PRCM a établi que la modélisation réaliste de la circulation océanique planétaire et des répartitions des masses d'eau est primordiale si l'on veut prédire les variations climatiques sur des échelles décenniques et plus. De tels modèles océaniques sont particulièrement importants si l'on considère les répercussions climatiques de l'accroissement du CO_2 ou d'autres perturbations d'origine humaine. Pour cette raison, le PRCM a lancé l'Expérience sur la circulation de l'océan planétaire (WOCE), entreprise mixte d'observations et de modélisation à l'une échelle globale, qui constituera la base de la modélisation du système atmosphère-océan pleinement intégré dans les années quatre-vingt-dix et au-delà. Les chercheurs de l'IOB jouent un rôle déterminant dans la planification de cette expérience et espèrent jouer un rôle tout aussi important dans sa réalisation.

Références

ANDERSON, R.J. et SMITH S.D., 1981. Evaporation coefficients for the sea surface from eddy flux measurements. *Journal of Geophysical Research 86* (C1): 449-456.

BRYAN, KIRK. 1962. Measurements of the meridional heat transport by ocean currents (résumé seulement). *Journal of Geophysical Research 67*, 3546.

BUDYKO, M.I. (Editor). 1963. Atlas of the Heat Balance of the Earth. Gidrometeoizdat, Moscow.

DOBSON, F.W., BRETHERTON, F.P., BURRIDGE, D.M., CREASE, J., KRAUS, E.B., et VON DER HAAR, T.H., 1982. The CAGE Experiment. A Feasibility Study. Genève; Programme climatique mondial 22 (Organisation météorologique mondiale).

DOBSON, F.W. et SMITH, S.D., 1985. Estimating Solar Radiation at Sea. *In* Wave Breaking and Remote sensing of the Sea Surface; *Eds.* Y. Toba and H. Mitsuyasu. Hollande; D. Reidel Publishing Co.

DOE, E. 1963. A 3-component thrust anemometer for studies of vertical transports above the sea surface. Institut océanographique de Bedford, Technical Report 63-1.

ERIKSSON, ERIK, 1962. Oceanic mixing. *Deep-Sea Research 9*: 1-10.

GURVICH, A.S. 1961. Measurement of the friction stress in the atmosphere near the ground. Akad. Nauk. SSSR, Izvestia, Ser. Geophys., *3*: 458-466.

MONIN, A.S. et OBOUKHOV, A.M. 1960. Fundamental Laws of Turbulent Mixing in the Atmospheric Ground Layer. In Limerg. H.(Trans) Sammelband zur Statistischen Theorie der Turbulenz. Berlin Akademik Verlag: 199-206.

POND, S., STEWART, R.W., et BURLING, R.W., 1963. Turbulence Spectra in Wind over Waves. Journal of Atmospheric Sciences *20*: 319 p.

ROBINSON, M. K. 1962. Analysis of bathythermograph (BT) temperature data with a high-speed computer. *Journal of Geophysical Research 67*: 3592.

ROLL, H.U. 1963. On the application of turbulence theory to the determination of marine evaporation. *Geophysics, Pure and Applied 56*.

SMITH, S.D. 1980. Wind stress and heat flux over the ocean in gale force winds. *Journal of Physical Oceanography 10*: 709-726.

SMITH, S.D. et KATSAROS, K. 1983. HEXOS, Humidity Exchange Over the Sea Experiment Plan. Rapport technique canadien sur l'hydrographie et les sciences océaniques n° 21.

STEELE, J.H., BARRETT, J.R. et WORTHINGTON, L.V. 1962. Deep currents south of Iceland. *Deep-Sea Research 9*: 465-474.

VOLKMAN, G. 1962. Deep current observations in the western North Atlantic. *Deep-Sea Research 9*: 493-500.

WENNEKENS, M.P. 1962. The SVTP instrument and its application to oceanography. *Journal of Geophysical Research 67*: 3608.

WORTHINGTON, L.V. 1962. Evidence for a two gyre circulation system in the North Atlantic. *Deep-Sea Research 9*: 51-68.

WORTHINGTON, L.V. 1976. On the North Atlantic Circulation. *John Hopkins Oceanographic Studies 6:* 110 pp.

Cartes et publications

PRODUCTION DES CARTES

Le bureau de la Région Scotia-Fundy du Service hydrographique du Canada possède un effectif de 27 cartographes chargés d'établir 424 cartes de navigation qui couvrent la côte est du Canada, du banc Georges au détroit du Prince-de-Galles, dans l'Arctique.

Les cartes se répartissent en trois catégories. Une « nouvelle carte » est la première carte qui décrit une région à une échelle donnée ou qui couvre une zone différente de ce que présentent les cartes existantes. Ce type de cartes a maintenant une nouvelle présentation, avec isobathes suivant le système métrique, et elles sont bilingues. Une « nouvelle édition » est une carte déjà existante mais présentant des données nouvelles et des modifications rendues publiques dans les *Avis aux navigateurs*. Elle peut par exemple présenter une nouvelle grille Loran C lorsque la couverture du système de navigation a été augmentée, ou indiquer l'emplacement de nouveaux terminaux maritimes, ou représenter une nouvelle frontière internationale, comme c'est le cas sur le banc Georges. Quant aux « réimpressions », il s'agit de la reprise d'une édition actuelle qui intègre les modifications rendues publiques dans les *Avis aux navigateurs*.

En 1985, le SHC (Atlantique) a encore produit un certain nombre de cartes. Outre les nouvelles cartes et les nouvelles éditions énumérées plus bas, il a publié, à partir de l'examen de 10 000 articles, 85 modifications de cartes et 6 annexes graphiques, par le biais des *Avis aux navigateurs*.

Roger Belanger

Les hydrographes fixent une station de contrôle planimétrique pour la photographie aérienne afin d'établir des points de référence terrestres.

Nouvelles cartes

4844 Cape Pine to/à Renews Harbour
4845 Renews Harbour to/à Motion Bay
5335 Rivière George
5373 Approches à/Approaches to Rivière George
5376 Approches à/Approaches to Rivière Koksoak

Nouvelles cartes (à contrat)

7511 Resolute Passage
7512 Strathcona Sound and/et Adams Sound
7568 Lancaster Sound and/et Admiralty Inlet
7569 Barrow Strait and/et Wellington Channel

Cartes spéciales

M-302 Carte commémorative du 75e anniversaire du service naval
10041 Strait of Belle Isle to/à Davis Strait — carte statistique de Pêches et Océans

Nouvelles éditions

4306 Strait of Canso and/et Southern Approaches/les approches sud
4315 Sydney Harbour
4316 Halifax Harbour
4356 Liscomb and Marie Joseph Harbours
4391 La Have River
4588 St. John's Harbour
4614 Argentia Harbour
5153 Napatalik to Iglosiatik Island
7212 Bylot Island and Adjacent Channels
7935 Crozier Strait and/et Pullen Strait
7950 Jones sound, Norwegian Bay, and Queen's Channel

Nouvelles éditions (Loran C) (à contrat)

4020 Strait of Belle Isle
4321 Cape Canso to Liscomb Island
4335 Strait of Canso and Approaches
4363 Cape Smoky to St. Paul Island
4367 Flint Island to Cape Smoky
4374 Red Point to Guyon Island
4375 Guyon Island to Flint Island
4403 East Point to Cape Bear
4404 Cape George to Pictou
4405 Pictou Island to Tryon Shoals
4406 Tryon Shoals to Cape Egmont
4462 St. George's Bay
4463 Cheticamp to Cape Mabou
4464 Cheticamp to Cape St. Lawrence
4574 Approaches to St. John's

PUBLICATIONS

Voici une liste alphabétique, par auteur, des publications de l'Institut en 1985; ces publications proviennent du Laboratoire océanographique de l'Atlantique, du Laboratoire d'écologie marine, du Centre géoscientifique de l'Atlantique, de la Division des poissons de mer et du Service hydrographique du Canada (région de l'Atlantique). Il s'agit d'articles publiés dans des périodiques scientifiques et hydrographiques, de livres, de comptes rendus de conférences et de diverses séries de rapports techniques. Pour de plus amples renseignements sur ces publications, veuillez vous adresser aux :

Services de bibliothèque
Institut océanographique de Bedford
B.P. 1006
Dartmouth (Nouvelle-Écosse)
Canada B2Y 4A2

Heinz Wiele

Le nsc Hudson *rencontre de la glace nouvelle dans l'est de l'Arctique.*

LABORATOIRE OCÉANOGRAPHIQUE DE L'ATLANTIQUE

AMOS, C.L. and TOPLISS, B.J. 1985. Discrimination of suspended particulate matter in the Bay of Fundy using the Number 7 Coastal Zone Colour Scanner. *Canadian Journal of Remote Sensing 11(1)*: 85-92.

ANDERSON, L.G., COOTE, A.R., and JONES, E.P. 1985. Nutrients and alkalinity in the Labrador Sea and their use in the characterization of water masses and processes. *Journal of Geophysical Research 90(C4)*: 7355-7360.

ANDERSON, L.G. and JONES, E.P. 1985. Measurements of total alkalinity, calcium and sulfate in natural sea ice. *Journal of Geophysical Research 90(C5)*: 9194-9198.

ANDERSON, L.G. and JONES, E.P. 1985. Sea ice meltwater, a source of alkalinity, calcium and sulfate? Results from the CESAR Ice Station. *Rit Fiskideildar 9*: 90-96.

BENOIT, J., EL-SABH, M.I., and TANG, C.L. 1985. Structure and seasonal characteristics of the Gaspe Current. *Journal of Geophysical Research 90(C2)*: 3225-3236.

BERMAN, S.S. and YEATS, P.A. 1985. Sampling of seawater for trace metals. *CRC Critical Reviews in Analytical Chemistry 16(1)*: 1-14.

BEWERS, J.M., YEATS, P.A., and BLANTON, J.O. 1985. The design of an open ocean baseline survey for trace metals in the Atlantic Ocean. Document prepared for the Intergovernmental Oceanographic Commission's Report of the 8th Session of the Group of Experts on Methods, Standards, and Intercalibrations, Monaco, November, 1985.

BEWERS, J.M., YEATS, P.A., WESTERLUND, S., MAGNUSSON, B., SCHMIDT, D., ZEHLE, H., BERMAN, S.S., MYKYTIUK, A., DUINKER, J.C., NOLTING, R.F., SMITH, R.G., and WINDOM, H.L. 1985. An intercomparison of seawater filtration procedures. *Marine Pollution Bulletin 16(7)*: 277-281.

BUGDEN, G.L. 1985. Oceanographic observations from the Bay of Fundy for the pre-operational environmental monitoring program for the Point Lepreau, N.B., nuclear generating station. Canadian Data Report of Hydrography and Ocean Sciences No. 27.

CHANDLER, P.C.P., DE MARGERIE, S., and COVILL, J.D. 1985. Numerical modelling of tides in Hudson Strait and Ungava Bay. Canadian Contractor Report of Hydrography and Ocean Sciences No. 13.

COCHRANE, N.A. 1985. An operational evaluation of an Ametek Straza DCP-4400 300 KHz doppler current profiler aboard CSS *Dawson*. Canadian Technical Report of Hydrography and Ocean Sciences No. 68.

COLONY, R., MORITZ, R.E., and SYMONDS, G. 1985. Random ice trajectories in the Greenland Sea. POAC 85, 8th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, Narssarssuaq, Greenland. Proceedings 1: 220-229.

DALZIEL, J.A. and YEATS, P.A. 1985. Reactive mercury in the central North Atlantic Ocean. *Marine Chemistry 15*: 357-361.

DOBSON, D. and PETRIE, B. 1985. Long-term temperature monitoring program 1984: Scotia-Fundy, Gulf regions. Canadian Data Report of Hydrography and Ocean Sciences No. 35.

DOBSON, D., PETRIE, B., and STEAD, P. 1985. Long-term temperature monitoring program 1984: Newfoundland Region. Canadian Data Report of Hydrography and Ocean Sciences No. 34.

DOBSON, F.W. 1985. Comment on measurements of wind velocity and pressure with a wave follower during Marsen by Hasiao and Shemdin. How much signal, how much noise? *Journal of Geophysical Research 90(C5)*: 9206-9207.

DOBSON, F.W. 1985. Reflections on a probe support: A comment on "Measurement of high frequency waves using a wave follower", by S. Tang and O.H. Shemdin (1983). *Journal of Geophysical Research 90(C5)*: 9204-9205.

DOBSON, F.W. 1985. The oceans and how they affect climate. *Chinook 6(4)*: 88-91.

DOBSON, F.W. and SMITH, S.D. 1985. Estimation of solar radiation at sea. *In* Wave Breaking, Turbulent Mixing and Radio Probing of the Sea Surface; *Eds.* Y. Toba and H. Mitsuyasu. Reidel: 525-533.

DRINKWATER, K., TAYLOR, B., and PETRIE, L. 1985. Hydrographic conditions in the southern Gulf of St. Lawrence during July 26-August 3, 1982. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences No. 1338.

FLETCHER, J., MILLS, R.G., and SMITH, S.D. 1985. Design, construction, and performance of a moored stable platform. Canadian Technical Report of Hydrography and Ocean Sciences No. 62.

FOFONOFF, N.P. and HENDRY, R.M. 1985. Current variability near the Southeast Newfoundland Ridge. *Journal of Physical Oceanography 15(7)*: 963-984.

FREDERKING, R., WESSELS, E., MAXWELL, J.B., PRINSENBERG, S., and SAYED, M. 1985. Ice interaction with Adams Island, winter 1983/84. Annual Conference and 17th Canadian Hydrotechnical Proceedings: 365-387.

GREENBERG, D.A., LAWRENCE, D., LEVY, E., LODER, J., and TRITES, R. 1985. The oceanography of Georges Bank. Report prepared for Canadian Oil and Gas Lands Administration: 19 p.

GREGG, M.C., PETERS, H., WESSON, J.C., OAKEY, N.S., and SHAY, T. 1985. Intensive measurements of turbulence and shear in the equatorial undercurrent. *Nature 318(6042)*: 140-144.

HENDRY, R.M. 1985. Calibration of temperature measurements obtained from profiling CTD systems. International Council for the Exploration of the Sea C.M. 1985/C:3 (Hydrography Committee): 19 p.

HENDRY, R.M. 1985. Deep circulation south of the Gulf Stream at 50°W. *Progress in Oceanography 14*: 191-207.

HENDRY, R.M. 1985. Spatial structure of Gulf Stream current variability downstream of the New England seamount chain. Proceedings of ONR Gulf Stream Workshop, University of Rhode Island, April, 1985: 281-287.

HERMAN, A.W. 1985. A comparison of continuous measurements and point sampling strategies for measuring changes in large marine ecosystems. American Association for Advancement of Science Series. *In* Variability and Management of Large Marine Ecosystems; *Eds.* K. Sherman and L.M. Alexander: 175-202.

HERMAN, A.W. 1985. Biological profiling in the upper oceanic layers with a BATFISH vehicle: A review of applications. Advances in Chemistry Series No. 209. *In* Mapping Strategies in Chemical Oceanography; *Ed.* Alberto Zorino: 293-309.

IKEDA, M. 1985. A coupled ice-ocean model of wind-driven coastal flows. *Journal of Geophysical Research 90(C5)*: 9119-9128.

IKEDA, M. 1985. Internal Kelvin waves generated by quasi-periodic meso-scale motion along the coast. *Journal of Physical Oceanography 15(9)*: 1205-1211.

IKEDA, M. 1985. Wind effects on a front over the continental shelf-slope. *Journal of Geophysical Research 90(C5)*: 9108-9118.

KRANCK, K. and MILLIGAN, T.G. 1985. The origin of grain size spectra of suspension deposited sediment. *Geomarine Letters 5*: 61-66.

KU, L.F., GREENBERG, D.A., GARRETT, C.J.R., and DOBSON, F.W. 1985. Nodal modulation of the semi-diurnal tide in the Bay of Fundy and Gulf of Maine. *Science 230(4721)*: 69-71.

LEVY, E.M. 1985. Background levels of dissolved dispersed petroleum residues in the Gulf of St. Lawrence 1970-79. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 42*: 544-555.

LEVY, E.M. 1985. Background levels of petroleum residues in the Canadian Arctic marine environment. Presented at the IAWPR Conference on Arctic Water Pollution Research. *Journal of Water Science and Technology 18*: 161-169.

LIBRARY SERVICES. 1985. Publications from the Bedford Institute of Oceanography 1962-1983. Canadian Technical Report of Hydrography and Ocean Sciences No. 55.

LIVELY, R.R. 1985. Current meter, meterological, and sea-level observations off Cape Sable, N.S., August 1980 to April 1983. Canadian Technical Report of Hydrography and Ocean Sciences No. 66.

LODER, J.W., and PLATT, T. 1985. Physical controls on phytoplankton production at tidal fronts, *In* Proceedings of the 19th European Marine Biology Symposium; *Ed.* P.E. Gibbs, Cambridge University Press: 3-21.

LODER, J.W. and WRIGHT, D.G. 1985. Tidal rectification and frontal circulation on the sides of Georges Bank. *Journal of Marine Research 43(3)*: 581-604.

LORING, D.H. 1985. ICES intercalibration exercise for trace metals in marine sediments (1/TM/MS). A Preliminary Report. ICES Working Group on Sediments in Relation to Pollution, Copenhagen, May 1985: 49 p.

LORING. D.H. 1985. Potential bio-availability of particulate metals in estuarine and coastal systems. *In* Heavy Metals in the Environment; *Eds.* T.D. Lekkas, CEP Consultants, Edinburgh, U.K.: 380-382.

MOEN, J. 1985. Measurements of temperature sensitivity for eight Aanderaa pressure gauges fitted with paroscientific transducers. Canadian Technical Report of Hydrography and Ocean Sciences No. 58.

NEEDLER, G.T. 1985. The absolute velocity as a function of conserved measureable quantities. *Progress in Oceanography 14*: 421-429.

NEEDLER, G.T. 1985. The dumping of wastes at sea. Volumes 1-3 of Wastes in the Ocean [Book Review]. *Science 227(4682)*: 49-50.

NELSON, R.W.P., ELLIS, K.M., and SMITH, J.N. 1985. Environmental monitoring report for the Point Lepreau, N.B. Nuclear Generating Station - 1983. Canadian Technical Report of Hydrography and Ocean Sciences No. 59.

OAKEY, N.S. 1985. Statistics of mixing parameters in the upper ocean during JASIN phase 2. *Journal of Physical Oceanography 15(12)*: 1662-1675.

PERRIE, W. and TOULANY, B. 1985. Assessing a wave model a la swamp. Canadian Technical Report of Hydrography and Ocean Sciences No. 61.

PETRIE, B. and A. ISENOR. 1985. The near-surface circulation and exchange in the Newfoundland Grand Banks region. *Atmosphere-Ocean 23*: 209-227.

PLANT, S. (Compiler). 1985. Bay of Fundy environmental and tidal power bibliography (Second Edition). Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences No. 1339.

PRINSENBERG, S.J. and DANARD, M. 1985. Variations in momentum, mass, and heat fluxes due to changes in the sea surface temperature of Hudson Bay. *Atmosphere-Ocean 23(3)*: 228-237.

POCKLINGTON, R. 1985. Organic matter in the Gulf of St. Lawrence in winter. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 42(9)*: 1556-1561.

POCKLINGTON, R. 1985. The contribution of organic matter by the St. Lawrence River to the Gulf of St. Lawrence, 1981-1983. Mitteilungen aus dem Geologisch — Palaeontologischen Institut der Universitaet, Hamburg, SCOPE/ UNEP Sonderbond 58: 323-329.

QUON, C. 1985. Transient multiple wave number convective instability in a two-dimensional enclosed rotating fluid. *In* Lecture Notes in Physics 218; *Eds.* Soubbaramayer and J.P. Boujot, Springer-Verlag: 447-452.

RANTALA, R.T.T. and LORING, D.H. 1985. Partition and determination of cadmium, copper, lead, and zinc in marine suspended particulate matter. *International Journal of Environmental and Analytical Chemistry 19*: 165-173.

RUDDICK, B.R. and BENNETT, A.S. 1985. Finestructure and mixing at the edge of a warm core ring. *Journal of Geophysical Research 90(C5)*: 8943-8951.

SAMEOTO, D., COCHRANE, N.A., and HERMAN, A.W. 1985. Response of biological acoustic backscattering to ships' lights. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 42(9)*: 1535-1543.

SCHAFER, C.T., TAN., F.C., WILLIAMS, D.F., and SMITH, J.N. 1985. Late glacial to recent stratigraphy and sedimentary processes: Newfoundland continental slope and rise. *Canadian Journal of Earth Sciences 22*: 266-282.

SMITH, S.D. and JONES, E.P. 1985. Evidence for wind-pumping of air-sea gas exchange based on direct measurements of CO_2 fluxes. *Journal of Geophysical Research 90(C1)*: 869-875.

SMITH, S.D. 1985. Gas transfer at water surfaces; *Eds.* W. Brutsaert and G.H. Jirka [Book Review]. *Boundary Layer Meteorology 33*: 102-103.

SYMONDS, G. and PETERSON, I.K. 1985. MIZEX: Ice floe trajectories through the Greenland Sea. Canadian Data Report of Hydrography and Ocean Sciences 33.

TANG, C.L., BENNETT, A.S., and LAWRENCE, D.J. 1985. Thermohaline intrusions in the frontal zones of a warm core ring by BATFISH. *Journal of Geophysical Research, Special Issue 90(C5)*: 8928-8942.

TEE, K.T. 1985. Depth-dependent studies of tidally-induced residual currents on the sides of Georges Bank. *Journal of Physical Oceanography 15(2)*: 1818-1846.

TOPLISS, B.J. 1985. Optical measurements in the Sargasso Sea: Solar stimulated chlorophyll fluorescence. *Oceanologica Acta. 8(3)*: 263-270.

WRIGHT, D.G. and LODER, J.W. 1985. A depth-dependent study of the topographic rectification of tidal currents. *Geophysical and Astrophysical Fluid Dynamics 31*: 169-220.

YEATS, P.A. and BEWERS, J.M. 1985. Manganese in the western North Atlantic Ocean. *Marine Chemistry 17(3)*: 255-263.

LABORATOIRE D'ÉCOLOGIE MARINE

ADDISON, R.F. 1985. The health of the North Atlantic. *Canadian Chemical News/L'Actualité chimique canadienne* October: 30-31.

BATES, S., and PLATT, T. 1985. Fluorescence induction of chlorophyll *a* in the Sargasso Sea and on the Grand Banks: Correlation with photosynthetic capacity. *Marine Ecology — Progress Series 27(1)*: 29-38.

BRODIE, P.F. 1985. The acoustical Arctic aquabat. *BBC Wildlife Magazine* December: 559-562.

BRODIE, P.F. 1985. The family *Monodontidae*. *In* Encyclopedia of Aquatic Life. New York; Facts on File Press: 340 p.

BRODIE, P.F., and PAASCHE, A.J. 1985. Thermo-regulation and energetics of fin and sei whales based on postmortem, stratified temperature measurements. *Canadian Journal of Zoology 63(10)*: 2267-2269.

CHUI, Y.C., HANSELL, M.M., ADDISON, R.F. and LAW, F.C.P. 1985. Effects of chlorinated diphenyl ethers on the mixed function oxidases and ultrastructure of rat and trout liver. *Toxicology and Applied Pharmacology 81*: 287-294.

CONOVER, R.J., and COTA, G.F. 1985. Balance experiments with Arctic zooplankton. *In* Marine Biology of Polar Regions and Effects of Stress on Marine Organisms; *Eds.* J.S. Gray and M.E. Christiansen. Chichester; John Wiley and Sons, Ltd.: 217-236.

CRANFORD, P.J., PEER, D.L., and GORDON, D.C. 1985. Population dynamics and production of *Macoma talthica* in Cumberland Basin and Shepody Bay, Bay of Fundy. *Netherlands Journal for Sea Research 19*: 135-146.

DICKIE, L.M. and BOUDREAU, P.R. 1985. Acoustic estimates of fish abundance. CAFSAC Research Document 85/25.

DRINKWATER, K. and CLARKE, A. 1985. The Grand Banks of Newfoundland. *In* The Canadian Encyclopedia. Edmonton; Hurtig Publishers, V. 2: 763.

DRINKWATER, K., TAYLOR, G. and PETRIE, L. 1985. Hydrographic conditions in the southern Gulf of St. Lawrence during July 26–August 3, 1982. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Science. No. 1338.

FASHAM, M.J.R., PLATT, T., IRWIN, B., and JONES, K. 1985. Factors affecting the spatial pattern of the deep chlorophyll maximum in the region of the Azores front. *In* Essays on Oceanography; *Eds.* J. Crease *et al. Progress in Oceanography 14*: 129-165.

FIELD, J.G., WULFF, F.V., ALLEN, P.M., FASHAM, M.J.R., FLOS, J., FRONTIER, S., KAY, J.J., SILVERT, W., and TRAINOR, L. 1985. Ecosystem theory in relation to unexploited marine ecosystems. *In* Ecosystem Theory for Biological Oceanography. *Eds.*; R.E. Ulanowicz and T. Platt. Canadian Bulletin of Fisheries and Aquatic Sciences 213: 241-247.

FRANK, K.T., and LEGGETT, W.C. 1985. The dynamic nature of the tropic relationship between capelin larvae and its prey. ICES CM 1985/Mini-Symposium/No. 5.

FRANK, K.T., and LEGGETT, W.C. 1985. Reciprocal oscillations in densities of larval fish and potential predation: A reflection of present or past predation? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 42*: 1841-1849.

GALLEGOS, C.L., and PLATT, T. 1985. Vertical advection of phytoplankton and productivity estimates: A dimensional analysis. *Marine Ecology — Progress Series 26(2)*: 125-134.

GORDON, D.C., JR. and CRANFORD, P.J. 1985. Detailed distribution of dissolved and particulate organic matter in the Arctic Ocean and comparison with other oceanic regions. *Deep-Sea Research 32*: 1221-1232.

GORDON, D.C., JR., CRANFORD, P.J., and DESPLANQUE, C. 1985. Observations on the ecological importance of saltmarshes in the Cumberland Basin, a macrotidal estuary in the Bay of Fundy. *Estuarine, Coastal and Shelf Science 20*: 205-227.

GORDON, D.C. JR., PROUSE, N.J., and CRANFORD, P.J. 1985. Occurrence of *Spartina* macrodetritus in Bay of Fundy waters. *Estuaries 8*: 290-295.

HARGRAVE, B.T. 1985. Feeding rates of abyssal scavenging amphipods (*Eurythenes gryllus*) determined *in situ* by time-lapse photography. *Deep-Sea Research 32*: 443-450.

HARGRAVE, B.T. 1985. Particle sedimentation in the ocean. *Ecological Modelling 30*: 229-246.

HARGRAVE, B.T., HARDING, G.C., DRINKWATER, K.F., LAMBERT, T.C., and HARRISON, W.G. 1985. Dynamics of the pelagic food web in St. Georges Bay, Gulf of St. Lawrence. *Marine Ecology — Progress Series 20*: 221-240.

HARRISON, W.G., HEAD, E.J.H., CONOVER, R.J., LONGHURST, A.R., and SAMEOTO, D.D. 1985. The distribution and metabolism of urea in the eastern Canadian Arctic. *Deep-Sea Research 32(1)*: 23-42.

HARRISON, W.G., PLATT, T. and LEWIS, M.R. 1985. The utility of light-saturation models for estimating marine primary productivity in the field: A comparison with conventional "simulated" *in situ* methods. *Canadian Journal of Fisheries Aquatic Sciences 42(5)*: 864-872.

HEAD, E.J.H., and HARRIS, L.R. 1985. Physiological and biochemical changes in *Calanus hyperboreus* from Jones Sound, NWT, during the transition from summer feeding to overwintering condition. *Polar Biology 4(2)*: 99-106.

HEAD, E.J.H., HARRIS, L.R., and ABOU DEBS, C. 1985. Effect of day length and food concentration on *in situ* diurnal feeding rhythms in Arctic copepods. *Marine Ecology — Progress Series 24(3)*: 281-288.

HORNE, E.P.W. 1985. Ice induced vertical circulation in an Arctic Fiord. *Journal of Geophysical Research 90(C1)*: 1078-1086.

IRWIN, B., CAVERHILL, C., HARRISON, W.G., and PLATT, T. 1985. Primary production in the Sargasso Sea northeast of Bermuda in April 1984. Canadian Data Report of Fisheries and Aquatic Sciences No. 550.

IRWIN, B., PLATT, T., and CAVERHILL, C. 1985. Primary production and other related measurements in the eastern Canadian Arctic during the summer of 1983. Canadian Data Report of Fisheries and Aquatic Sciences No. 510.

JOHNSON, C.R. and MANN, K.H. 1986. The crustose coralline alga, *Phymatolithon* Foslie, inhibits the overgrowth of seaweeds without relying on herbivores. *Journal Experimental Marine Biology and Ecology 96*: 127-146.

JOHNSON, C.R. and MANN, K.H. 1986. The importance of plant's defence ability to the structure of subtidal seaweed communities: The kelp *Laminaria longicruris* de la Pylaie survives grazing by the snail *Lacuna vincta* (Montagu) at high populations densities. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 97*: 231-267.

KEIZER, P.D. and GORDON, D.C., JR. 1985. Nutrient dynamics in Cumberland Basin, Chignecto Bay, a turbid macrotidal estuary in the Bay of Fundy, Canada. *Netherlands Journal of Sea Research 19*: 193-205.

KEPKAY, P.E. 1985. Kinetics of microbial manganese oxidation and trace metal binding: Results from an *in situ* dialysis technique. *Limnology and Oceanography 30(4)*: 713-726.

KEPKAY, P.E. 1985. Microbial manganese oxidation and nitrification in relation to the occurrence of macrophyte roots in a lacustrine sediment. *Hydrobiologia 128*: 135-142.

KEPKAY, P.E. 1985. Microbial manganese oxidation and trace metal binding in sediments. *In* Planetary Ecology; *Eds.* D.E. Caldwell, J.A. Brierley and C.L. Brierley. New York; Van Nostrand Reinhold Company: 195-209.

KEPKAY, P.E. and ANDERSON, F.O. 1985. Aerobic and anaerobic metabolism of a sediment enriched with *Spartina* detritus. *Marine Ecology — Progress Series 21*: 153-161.

KERR, S.R. 1985. (Contributor) A conceptual approach for the application of biological indicators or ecosystem quality in the Great Lakes basin; *Eds.* R.A. Ryder, and C.J. Edwards. Windsor, Ontario; IJC/GLFC Report: 169 p.

KERR, S.R. 1985. Biographies of F.E.J. Fry and L.M. Dickie. *In* The Canadian Encyclopedia. Edmonton; Hurtig Publishers.

KERR, S.R., and DICKIE, L.M. 1985. Bioenergetics of O' Atlantic herring (*Clupea harengus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 42 (Suppl. 1)*: 105-110.

LAMBERT, T.C. 1985. Gastric emptying time and assimilation efficiency in Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*). *Canadian Journal of Zoology 6*: 817-820.

LEWIS, M.R., WARNOCK, R., IRWIN, B., and PLATT, T. 1985. Measuring photosynthetic action spectra of natural phytoplankton populations. *Journal of Phycology 21(2)*: 310-315.

LEWIS, M.R., WARNOCK, R., and PLATT, T. 1985. Absorption and photosynthesis action spectra for natural phytoplankton populations: Implications for production in oligotrophic ocean. *Limnology and Oceanography 30(4)*: 794-806.

LI, W.K.W. 1985. Photosynthetic response to temperature of marine phytoplankton along a latitudinal gradient (16°N to 74°N). *Deep-Sea Research 32(11)*: 1381-1391.

LI, W.K.W. and DICKIE, P.M. 1985. Growth of bacteria in seawater filtered through 0.2 μm Nuclepore membranes: Implications for dilution experiments. *Marine Ecology — Progress Series 26(3)*: 245-252.

LI, W.K.W., and DICKIE, P.M. 1985. Metabolic inhibition of size-fractionated marine plankton radiolabeled with amino acids, glucose, bicarbonate, and phosphate in the light and dark. *Microbial Ecology 11(1)*: 11-24.

LODER, J.W., and PLATT, T. 1985. Physical controls on phytoplankton production at tidal fronts. *In* Proceedings of the XIX European Marine Biology Symposium; *Ed.* P.E. Gibbs. Cambridge; Cambridge University Press: 3-21.

LONGHURST, A.R. 1985. Relationship between diversity and the vertical structure of the upper ocean. *Deep-Sea Research 32(12)*: 1535-1570.

LONGHURST, A.R. 1985. The structure and evolution of plankton communities. *Progress in Oceanography 15(1)*: 001-035.

LONGHURST, A. and SILVERT, W. 1985. A management model for the Great Bustard in Iberia *Bustard Studies 2*: 57-72.

LOUCKS, R.H., and TRITES, R.W. 1985. Analyses of sea-surface temperatures in the Northwest Atlantic. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences No. 1410.

MALLET, A.L., ZOUROS, E., GARTNER-KEPKAY, K.E., FREEMAN, K.F., and DICKIE, L.M. 1985. Larval viability and heterozygote deficiency in populations of marine bivalves. *Marine Biology 8*: 165-172.

MANN, K.H. 1985. Bedford Institute of Oceanography. *In* The Canadian Encyclopedia. Edmonton; Hurtig Publishers, Vol. 1: 126.

MANN, K.H. 1985. Invertebrate behaviour and the structure of marine benthic communities. *In* Behavioural Ecology; Ecological Consequences of Adapted Behavior. Symposium of the British Ecological Society (25th: 1984: Reading, England); *Eds.* R. Sibley and R.H. Smith. Oxford; Blackwell Scientific Publications: 227-246.

MANN, K.H. 1985. Productivity of macroalgal communities and the problem of destructive grazing by herbivores, 279-291. *In* Proceedings of the International Symposium on Utilization of Coastal Ecosystems: Planning, Pollution and Productivity, Vol. 1; *Eds.* N.L. Chao and W. Kirby-Smith. Fundacao Universidade do Rio Grande, Brasil and Duke University Marine Laboratory; Beaufort, NC: 279-291.

PARANJAPE, M.A., CONOVER, R.J., HARDING, G.C., and PROUSE, N.J. 1985. Micro- and macrozooplankton on the Nova Scotian Shelf in the prespring bloom period: A comparison of their potential resource utilization. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 42(9)*: 1484-1492.

PARSONS, T.R., SHARP, J.C., and LI, W.K.W. 1985. The cultivation of marine amphipods and their use as food for young salmonids. *Sonderdruck aus Zeitschrift fur angewandte Ichthyologie 2*: 77-84.

PLATT, T. 1985. Phytoplankton production in oligotrophic marine ecosystems: The Mediterranean Sea. *In* Mediterranean Marine Ecosystems; *Eds.* M. Moraitou-Apostolopoulou and V. Kiortsis. Plenum Publishing Corporation: 231-246.

PLATT, T. 1985. Structure of the marine ecosystem: Its allometric basis. *In* Ecosystem Theory for Biological Oceanography; *Eds.* R.E. Ulanowicz and T. Platt. *Canadian Bulletin of Fisheries and Aquatic Sciences 213*: 55-64.

PLATT, T., and HARRISON, W.G. 1985. Biogenic fluxes of carbon and oxygen in the ocean. *Nature 318(7)*: 55-58.

RIVIER, A., BROWNLEE, D.C., SHELDON, R.W. and RASSOULZADEGAN, F. 1985. Growth of microzooplankton: A comparative study of bactivorous zooflagellates and ciliates. *Marine Microbial Food Webs Vol. 1*: 51-60.

ROWELL, T.W. and TRITES, R.W. 1985. Distribution of larval and juvenile *Illex* (Mollusca: Cephalopoda) in the Blake Plateau Region (Northwest Atlantic). *Vie et Milieu 35 (3/4)*: 149-161.

ROWELL, T.W., TRITES, R.W., and DAWE, E.G. 1985. Distribution of short-finned squid (*Illex illecebrosus*) larvae and juveniles in relation to the Gulf Stream Frontal Zone between Florida and Cape Hatteras. NAFO Scientific Council Studies, 9: 77-92.

RYDER, R.A., and KERR, S.R. (In press). Harmonic communities in aquatic ecosystems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 44*.

SAMEOTO, D.D., COCHRANE, N.A., and HERMAN, A.W. 1985. Response of biological acoustic backscattering to ship's lights. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 42(9)*: 1535-1543.

SCHWINGHAMER, P. 1985. Observations on size-structure and pelagic coupling of some shelf and abyssal benthic communities. *In* Proceedings of the Nineteenth European Marine Biology Symposium; *Ed.* P.E. Gibbs. Cambridge; University Press: 347-359.

SILVERT, W. 1985. Report on Grand Banks Modelling Project, 9 May 1985: 52 p.

SILVERT, W. 1985. BSIM Reference Manual: 21 p.

SILVERT, W. 1985. BSIM Users's Guide: 18 p.

SMITH, J.C., and PLATT, T. 1985. Temperature responses of ribulose bisphosphate carboxylase and photosynthetic capacity in Arctic and tropical phytoplankton. *Marine Ecology — Progress Series 25(1)*: 31-37.

SMITH, J.C., PLATT, T., LI, W.K.W., HORNE, E.P.W., HARRISON, W.G., SUBBA RAO, D.V., and IRWIN, B.D. 1985. Arctic marine photoautotrophic picoplankton. *Marine Ecology — Progress Series 20(3)*: 207-220.

SMITH, P.C. and MANN, K.H. 1985. Coastal Waters. *In* The Canadian Encyclopedia, Edmonton, Alberta: Hurtig Publishers, v. 1: 367-368.

SMITH, R.E.H., HARRISON, W.G., and HARRIS, L. 1985. Phosphorus exchange in marine microplankton communities near Hawaii. *Marine Biology 86(1)*: 75-84.

SMITH, R.E.H., and GEIDER, R.J. 1985. Intracellular carbon allocation kinetics in a marine diatom. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 93(3)*: 191-210.

SMITH, R.E.H., and KALFF, J. 1985. Phosphorus competition among phytoplankton: A reply. *Limnology and Oceanography 30(2)*: 440-444.

STUART, V., HEAD, E.J.H., and MANN, K.H. 1985. Seasonal changes in the digestive enzyme levels of the amphipod *Conophium volutator* (Pallas) in relation to diet. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 88(3)*: 243-256.

TRITES, R.W. and DRINKWATER, K.F. 1985. Overview of environmental conditions in the northwest Atlantic during 1983. Northwest

Atlantic Fisheries Organization, Scientific Council Studies 8: 7-20.

TRITES, R.W. and DRINKWATER, K.F. 1985. Overview of environmental conditions in the northwest Atlantic in 1984. Northwest Atlantic Fisheries Organization, Scientific Council Report Document 85/74.

TRITES, R.W. and LOUCKS, R.H. 1985. Environment on the East coast and in particular the Scotian Shelf. *In* Towards the inclusion of fishery interactions in management advice. *Ed.* R. Mahon (Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences No. 1347: 163-182.

TRITES, R.W., MCLAIN, D.R., and INGHAM, M.C. 1985. Sea-surface temperatures along the Continental Shelf from Cape Hatteras to Hamilton Bank. Northwest Atlantic Fisheries Organization, Scientific Council Studies 8: 21-23.

TRITES, R.W. and ROWELL, T.W. 1985. Larval and juvenile distribution of the short-finned squid (*Illex illecebrosus*) in the Cape Hatteras-Florida Straits area in the December-January period, 1984-1985. Northwest Atlantic Fisheries Organization, Scientific Council Report Document 85/89.

VANDERMEULEN, J.H., and BUCKLEY, D.E. (Editors). 1985. The Kurdistan oil spill of March 16-17, 1979: Activities and observations of the Bedford Institute of Oceanography response team. Canadian Technical Report of Hydrography and Ocean Sciences No. 35.

VANDERMEULEN, J.H., FODA, A., and STUTTARD, C. 1985. Toxicity *vs* mutagenicity of some crude oils, distillates and their water soluble fractions. *Water Research 19(10)*: 1283-1289.

VANDERMEULEN, J.H. and GILFILLAN, E.S. 1985. Petroleum pollution, corals and mangroves. *Marine Technology Society Journal 18(3)*: 62-72.

WAINWRIGHT, S., PAABST, A. and BRODIE, P. 1985. Form and function of the collagen layer underlying cetacean blubber. *American Society of Zoology 25*.

WARE, D.M. and LAMBERT, T.C. 1985. Early life history of Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) in the southern Gulf of St. Lawrence. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 42*: 577-592.

WELLS, P.G. and ADDISON, R.F. 1985. Proceedings of the Tenth Annual Aquatic Toxicity Workshop (November 7-10, 1983; Halifax, N.S.) Canadian Technical Report of Fisheries Aquatic Sciences No. 1368.

WILLIS, D.E. and ADDISON, R.F. 1985. Synthesis of 1-(^{14}C)-Phenyl-1(3,4-dimethyl) phenylethane: A component of some PCB replacement materials. *Journal of Labelled Compounds and Radiopharmaceuticals XXII (7)*: 705-709.

CENTRE GÉOSCIENTIFIQUE DE L'ATLANTIQUE

AGTERBERG, F.P., GRADSTEIN, F.M., LEW, S.N., and THOMAS, F.C. 1985. Nine data bases with applications of ranking and scaling of stratigraphic events. *In* Quantitative Stratigraphy, by F.M. Gradstein, F.P. Agterberg, J.C. Brower, and W.S. Schwarzacher. Dordrecht: D. Reidel; Paris: UNESCO: 473-564.

AGTERBERG, F.P., OLIVER, J., LEW, S.N., GRADSTEIN, F.M., and WILLIAMSON, M.A. 1985. CASC Fortran IV interactive computer program for correlation and scaling in time of biostratigraphic events. Geological Survey of Canada, Open File 1179.

AKSU, A.E. and MUDIE, P.J. 1985. Late quaternary stratigraphy and paleoecology of Northwest Labrador Sea. *Marine Micropaleontology 9(6)*: 537-557.

AKSU, A.E. and MUDIE, P.J. 1985. Magnetostratigraphy and palynology demonstrate at least 4 million years of Arctic Ocean sedimentation. *Nature (London) 318(6043)*: 280-283.

AMOS, C.L. 1985. Bottom photography and sediment analyses on CESAR. *In* Initial Geological Report on CESAR — the Canadian Expedition to study the Alpha Ridge, Arctic Ocean; *Eds.* H.R. Jackson, P.J. Mudie, and S.M. Blasco. Geological Survey of Canada, Paper 84-22: 25-45.

AMOS, C.L. and MOSHER, D.C. 1985. Erosion and deposition of fine-grained sediments from the Bay of Fundy. *Sedimentology 32(6)*: 815-832.

AMOS, C.L. and TOPLISS, B.J. 1985. Discrimination of suspended particulate matter in the Bay of Fundy using the Nimbus 7 coastal zone color scanner. *Canadian Journal of Remote Sensing 11(1)*: 85-92.

AMOS, C.L. and ZAITLIN, B.A. 1985. The effect of changes in tidal range on a sublittoral macrotidal sequence, Bay of Fundy, Canada. *In* Origins, Transport, and Deposition of Fine-grained Sediments: SEPM Research Conference (1984: Los Angeles, CA), Part I. *Geo-Marine Letters 4(3/4)*: 161-169.

ASUDEH, I., FORSYTH, D.A., JACKSON, H.R., STEPHENSON, R., and WHITE, D. 1985. The 1985 Ice Island refraction survey: Phase 1 report. Geological Survey of Canada, Open File 1196 (also released as Canada. Earth Physics Branch, Open File: 85-23).

ATLANTIC-GEOSCIENCE-CENTRE 1985. Preliminary 1:2m surficial features map of offshore eastern Canada. Geological Survey of Canada, Open File 1076.

AVERY, M.P. 1985. Vitrinite reflectance (Ro) of the dispersed organics and coaly matter from the Mobil *et al.* Hibernia B-08 (revised report). Geological Survey of Canada, Open File 1201. 1 V.

AVERY, M.P. 1985. Vitrinite reflectance Ro on the dispersed organics in Amoco Imperial Puffin B-90. Geological Survey of Canada, Open File 1165 (GSCOF 1165); Mobil Gulf Adolphus D-50 (GSCOF 1166); Amoco Imperial Skelly Tern A-68 (GSCOF 1167); Amoco-IOE A-1 Murre G-67 (GSCOF 1168); Mobil *et al.* West Flying Foam L-23 (GSCOF 1169); Mobil — Texaco — Pex Olympia A-12 (GSCOF 1171); Mobil — Tetco — Petro Canada Migrant N-20 (GSCOF 1172); Mobil Gulf Adolphus D-50 (GSCOF 1199); Mobil Gulf Dominion O-23 (GSCOF 1200); and Esso Voyageur Gabriel C-60 (GSCOF 1206).

AVERY, M.P. and BELL, J.S. 1985. Vitrinite reflectance measurements from the South Whale Basin, Grand Banks, Eastern Canada, and implications for hydrocarbon exploration. Geological Survey of Canada, Paper 85-1B: 51-57.

BAYS, A.B., POLEY, D.F., and BLASCO, S.M. 1985. DMAPS: A new experimental digital marine reflection seismic acquisition and processing system. Geological Survey of Canada, Paper 85-1A: 523-526.

BLASCO, S.M., HARPER, J.R., and FORBES, D.L. 1985. Sediment distribution and dynamics in the southern Beaufort Sea. *In* Proceedings, Workshop on Arctic Regional Coastal Erosion and Sedimentation, Comptes rendus (1983: Calgary, Alberta). National Research Council Canada: 1-2.

BOYD, R., BOWEN, A.J., and HONIG, C. 1985. Transgressive sedimentation, Eastern Shore, Nova Scotia: Field trip C — (14th Arctic Workshop on Arctic Land-Sea Interactions; Bedford Institute of Oceanography, Dartmouth, N.S.), Geological Survey of Canada, Open File 1324.

BUCKLEY, D.E. and GRANT, A.C. 1985. Faultlike features in abyssal plain sediments: Possible dewatering structures. *Journal of Geophysical Research 90(C5)*: 9173-9180.

CHEADLE, S.P., BERTRAM, M.B., and LAWTON, D.C. 1985. Development of a physical seismic modeling system. University of Calgary. Geological Survey of Canada, Paper 85-1A: 499-504.

CHOUGH, S.K., MOSHER, D.C., and SRIVASTAVA, S.P. 1985. Ocean Drilling Program (ODP) site survey (Hudson 84-030) in the Labrador Sea: 3.5 kHz profiles. Geological Survey of Canada, Paper 85-1B: 33-41.

DAVIES, E.H. 1985. Dinoflagellate cyst occurrences of the Jurassic-Lower Cretaceous sequence in the Sverdrup Basin; Arctic Canada. Geological Survey of Canada, Open File 1153.

DAVIES, E.H. 1985. The amemiacean, schizeacean and related spores: An index to genera and species. Canadian Technical Report of Hydrography and Ocean Sciences No. 67.

DRAPEAU, G., HODGINS, D.O., LONG, B.F., and AMOS, C.L. 1985. Radio-isotope tracer measurements of sand transport on the outer continental shelf, Sable Island, Canada. *In* Ocean Engineering and the Environment; Oceans '85 (1985: San Diego, CA); Conference Record. V. 1: 581-586.

ERVINE, W.B. 1985. A synthesis of hydrocarbon maturation data for the east Newfoundland Basin. Geological Survey of Canada, Open File 1178.

FORBES, D.L. 1985. Placentia Road and St. Mary's Bay: Field-trip guide to coastal sites in the southern Avalon Peninsula, Newfoundland. *In* Proceedings, Canadian Coastal Conference (1985: St. John's, Nfld.), Comptes rendus, *Ed.*, D.L. Forbes. Ottawa: National Research Council Canada: 587-605.

FORBES, D.L. (Editor) 1985. Proceedings, Canadian Coastal Conference 1985 (1985: St. John's, Nfld.), Comptes rendus; Ottawa: National Research Council Canada: 605 p.

FORBES, D. 1985. "Coastal sedimentation," *Eds.*, D.J.P. Swift and H.D. Palmer [Book Review]. Journal of Coastal Research 1(4): 416-417.

FORBES, D.L. and FROBEL, D. 1985. Coastal erosion and sedimentation in the Canadian

Beaufort Sea. Geological Survey of Canada, Paper 85-1B: 69-80.

GASKILL, H., NICKS, L., and ROSS, D. 1985. A non-deterministic model of populations of iceberg scour depths. *Cold Regions Science and Technology 11(2)*: 107-122.

GILBERT, G.R., BLASCO, S., STIRBYS, A.F., and LEWIS, C.F.M. 1985. Beaufort Sea ice scour analysis using a computerized data base. *In* Annual Offshore Technology Conference (17th: 1985: Houston, TX). Richardson, TX: The Conference. V. 3: 111-118.

GILBERT, R., SYVITSKI, J.P.M., and TAYLOR, R.B. 1985. Reconnaissance study of proglacial Stewart Lakes, Baffin Island, District of Franklin. Geological Survey of Canada, Paper 85-1A: 505-510.

GRADSTEIN, F.M. 1985. Ranking and scaling in exploration micropaleontology. *In* Quantitative Stratigraphy: F.M. Gradstein, F.P. Agterberg, J.C. Brower and W.S. Schwarzacher. Dordrecht: D. Reidel; Paris: UNESCO: 109-160.

GRADSTEIN, F.M. 1985. Stratigraphy and the fossil record. *In* Quantitative Stratigraphy; F.M. Gradstein, F.P. Agterberg, J.C. Brower, and W.S. Schwarzacher. Dordrecht: D. Reidel; Paris: UNESCO: 17-39.

GRADSTEIN, F.M. 1985. Timescales and burial history. *In* Quantitative stratigraphy: F.M. Gradstein, F.P. Agterberg, J.C. Brower and W.S. Schwarzacher. Dordrecht: D. Reidel; Paris: UNESCO: 421-469.

GRADSTEIN, F.M. 1985. Unitary associations and ranking of Jurassic radiolarians. *In* Quantitative stratigraphy; F.M. Gradstein, F.P. Agterberg, J.C. Brower, and W.S. Schwarzacher. Dordrecht: D. Reidel; Paris: UNESCO: 263-278.

GRADSTEIN, F.M. and AGTERBERG, F.P. 1985. Quantitative correlation in exploration micropaleontology. *In* Quantitative Stratigraphy; F.M. Gradstein, F.P. Agterberg, J.C. Brower, and W.S. Schwarzacher. Dordrecht: D. Reidel; Paris: UNESCO: 309-357.

GRADSTEIN, F.M., AGTERBERG, F.P., BROWER, J.C., and SCHWARZACHER, W.S. 1985. Quantitative Stratigraphy. Dordrecht: D. Reidel; Paris: UNESCO: 598 p.

GRANT, A.C. 1985. Structural evolution of the head of Solander Trough, south of New Zealand, based on analysis of seismic basement. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics 28(1)*: 5-22.

GRANT, D.R. 1985. Glaciers, sediment and sea level; Northern Bay of Fundy, Nova Scotia: Field Trip B (14th Arctic Workshop on Arctic Land-Sea Interactions; Bedford Institute of Oceanography, Dartmouth, N.S.), Geological Survey of Canada, Open File 1323.

HACQUEBARD, P.A. and AVERY, M.P. 1985. Geological and geothermal effects on coal rank variations in the Carboniferous Basin of New Brunswick, Canada. *In* Congrès international de stratigraphie et de géologie du carbonifère (10E: 1983: Madrid); Compte rendu. Instituto Geologico y Minero de Espana. V. 3: 383-397.

HARRISON, P.H. 1985. Vitrinite reflectance (Ro) on the dispersed organics in the Amoco Imp Skelly Egret N-46. Geological Survey of Canada, Open File 1170.

HAWORTH, R.T., WILLIAMS, H. and KEEN, C.E. 1985. North American Continent-Ocean Transects Program, Transect D1: North Appalachian Mountains across Newfoundland to South Labrador Sea, Boulder, CO: Geological Society of America. Continent-Ocean Transect D1: 9 p.

HELLER, M., GRADSTEIN, W.S., GRADSTEIN, F.M., AGTERBERG, F.P., and LEW, S.N. 1985. RASC Fortran 77 computer program for ranking and scaling of biostratigraphic events. Geological Survey of Canada, Open File 1203.

HILL, P.R., MUDIE, P.J., MORANK, and BLASCO, S.M. 1985. A sea-level curve for the Canadian Beaufort Shelf. *Canadian Journal of Earth Sciences 22(10)*: 1383-1393.

HOSKIN, K.S., SYVITSKI, J.P.M., ASPREY, K.W., and CONNOLLY, P. 1985. Expedition Report No. 84-025, Louis M. Lauzier, Centre Champlain des Sciences de la Mer, October 19-20, 1984. Geological Survey of Canada, Open File 1140.

HUTCHINS, R.W., DODDS, J., and FADER, G. 1985. Seabed II: High-resolution acoustic seabed surveys of the deep ocean. *In* Offshore Site Investigation; Proceedings of an International Conference (1985: London, UK): 69-83.

JACKSON, H.R. 1985. Knowledge of the Alpha Ridge prior to CESAR. *In* Initial Geological Report on CESAR — the Canadian Expedition to Study the Alpha Ridge, Arctic Ocean; *Eds.* H.R. Jackson, P.J. Mudie, and S.M. Blasco. Geological Survey of Canada, Paper 84-22: 11-14.

JACKSON, H.R. 1985. Nares Strait — a suture zone: Geophysical and geological implications. *In* Geophysics of the Polar Regions; Selected Papers from the Symposium on Geophysics of the Polar Regions, I.U.G.G. General Assembly (18th: 1983: Hamburg, F.R.G.); *Eds.* E.S. Husebye, G.L. Johnson, and Y. Kristoffersen. *Tectonophysics 114(1/4)*: 11-28.

JACKSON, H.R. 1985. Seismic reflection results from CESAR. *In* Initial Geological Report on CESAR — the Canadian Expedition to Study the Alpha Ridge, Arctic Ocean; *Eds.* H.R. Jackson, P.J. Mudie, and S.M. Blasco. Geological Survey of Canada, Paper 84-22: 19-23.

JACKSON, H.R. and KOPPEN, L. 1985. The Nares Strait gravity anomaly and its implications for crustal structure. *Canadian Journal of Earth Sciences 22(9)*: 1322-1328.

JACKSON, H.R., MUDIE, P.J., BLASCO, S.M. (Editors) 1985. Initial Geological Report on CESAR — the Canadian Expedition to Study the Alpha Ridge, Arctic Ocean. Geological Survey of Canada, Paper 84-22.

JANSA, L.F. and PE- PIPER, G. 1985. Early cretaceous volcanism on the northeastern American margin and implications for plate tectonics. *Geological Society of America Bulletin 96(1)*: 83-91.

JODREY, F. and HEFFLER, D. 1985. Piston coring on CESAR. *In* Initial Geological Report on CESAR — the Canadian Expedition to Study the Alpha Ridge, Arctic Ocean, *Eds.* H.R. Jackson, P.J. Mudie, and S.M. Blasco. Geological Survey of Canada, Paper 84-22: 175-177.

JONGSMA, D., VAN HINTE, J.E., and WOODSIDE, J.M. 1985. Geologic structure and neotectonics of the North African continental margin south of Sicily. *Marine and Petroleum Geology 2(2)*: 156-179.

JOSENHANS, H.W. and FROBEL, D. 1985. How do icebergs affect the sea floor? Geological Survey of Canada, Open File 1040: 1 (Videotape).

KEEN, C.E. 1985. Evolution of rifted continental margins. Geological Survey of Canada, Paper 85-8: 10.

KEEN, C.E. 1985. The dynamics of rifting: Deformation of the lithosphere by active and passive driving forces. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society 80(1)*: 95-120.

KEEN, C.E. and HAWORTH, R.T. 1985. North American Continent Ocean Transects Program, Transect D2: Transform margin south of Grand Banks; Transect D3: Rifted continental margin off Nova Scotia; and Transect D4: Rifted continental margin off Labrador. Geological Society of America. (Centennial Continent/ Ocean Transect D2, D3, and D4).

KEEN, C.E. and HAWORTH, R.T. 1985. Rifted margin offshore Northeast Newfoundland [Chart], Geological Society of America. Continent-Ocean Transect D1 (East).

KEEN, C.E., HAWORTH, R.T., and WILLIAMS, H. 1985. Northern Appalachians; Grenville Province, Quebec to Avalon Zone, Newfoundland [Chart], Geological Society of America. Continent-Ocean Transect D1 (West).

KEEN, M.J. 1985. Dawson, William Bell [Biography]. *In The Canadian Encyclopedia*. Edmonton, Alta.: Hurtig Publishers. V. 1: 475.

KENT, D.V. and GRADSTEIN, F.M. 1985. A Cretaceous and Jurassic geochronology. *Geological Society of America Bulletin 96(11)*: 1419-1427.

KERR, A.J. and KEEN, M.J. 1985. Hydrographic and geologic concerns of implementing Article 76. *International Hydrographic Review 62(1)*: 139-148.

KING, L.H., FADER, G.B., POOLE, W.H., and WANLESS, R.K. 1985. Geological setting and age of the Flemish Cap Granodiorite, east of the Grand Banks of Newfoundland. *Canadian Journal of Earth Sciences 22(9)*: 1286-1298.

LENTIN, J.K. and WILLIAMS, G.L. 1985. Fossil dinoflagellates: Index to genera and species, 1985 Edition. Canadian Technical Report of Hydrography and Ocean Sciences No. 60.

MACLEAN, B. 1985. Geology of the Baffin Island Shelf. *In* Quaternary Environments: Eastern Canadian Arctic, Baffin Bay and Western Greenland; *Ed.* J.T. Andrews. Boston: Allen & Unwin: 154-177.

MACNAB, R., LONCAREVIC, B.D., COOPER, R.V., GIROUARD, P.R., HUGHES, M.D., and SHOUZHI, F. 1985. A regional marine multiparameter survey south of Newfoundland. Geological Survey of Canada, Paper 85-1B: 325-332.

MACNAB, R., PLASSE, D., and GRAVES, M. 1985. An index of commercially-acquired potential field data in the Canadian east coast offshore. Geological Survey of Canada, Paper 85-1B: 467-469.

MACNAB, R., SHIH, K.G., and SRIVASTAVA, S.P. 1985. Application of the new International Geomagnetic Reference Field (IGRF80) to large sets of marine magnetometer data. *Physics of the Earth and Planetary Interiors 37(1)*: 5-11.

MORAN, K. and CHRISTIAN, H. 1985. Triaxial shear strength testing facility for the Western Arctic. Geological Survey of Canada, Paper 85-1A: 697-698.

MORRIS, T.H., CLARK, D.L., and BLASCO, S.M. 1985. Sediments of the Lomonosov Ridge and Makarov Basin: A pleistocene stratigraphy for the North Pole. *Geological Society of America Bulletin 96(7)*: 901-910.

MUDIE, P.J. 1985. Palynology of the CESAR cores, Alpha Ridge. *In* Initial Geological Report on CESAR — the Canadian Expedition to Study the Alpha Ridge, Arctic Ocean, *Eds.* H.R. Jackson, P.J. Mudie, and S.M. Blasco. Geological Survey of Canada, Paper 84-22: 149-174.

MUDIE, P.J. and BLASCO, S.M. 1985. Lithostratigraphy of the CESAR cores. *In* Initial Geological Report on CESAR — the Canadian Expedition to Study the Alpha Ridge, Arctic Ocean, *Eds.* H.R. Jackson, P.J. Mudie, and S.M. Blasco. Geological Survey of Canada, Paper 84-22: 59-99.

MUDIE, P.J. and JACKSON, H.R. 1985. Summary. *In* Initial Geological Report on CESAR — the Canadian Expedition to Study the Alpha Ridge, Arctic Ocean, *Eds.* H.R. Jackson, P.J. Mudie, and S.M. Blasco. Geological Survey of Canada, Paper 84-22: 3-10.

MUDIE, P.J. and SHORT, S.K. 1985. Marine palynology of Baffin Bay. *In* Quaternary Environments: Eastern Canadian Arctic, Baffin Bay and Western Greenland; *Ed.* J.T. Andrews. Boston: Allen & Unwin: 263-308.

NANTAIS, P.T. 1985. Regional hydrocarbon potential of the Labrador Shelf. Geological Survey of Canada, Open File 1197. 1 V.

PE- PIPER, G. and PIPER, D.J.W. 1985. Late-Cenozoic clays and climatic change in the Post-Orogenic Lakonia Graben, Southern Greece. *Neues Jahrbuch Fuer Mineralogie Abhandlungen 151(3)*: 301-313.

PEREIRA, C.P.G., PIPER, D.J.W., and SHOR, A.N. 1985. Sea MARC I midrange sidescan sonoar survey of Flemish Pass, east of the Grand Banks of Newfoundland. Geological Survey of Canada, Open File 1161.

PIPER, D.J.W. 1985. Continental slope facies: Ancient and modern. Geological Survey of Canada, Paper 85-8: 9.

PIPER, D.J.W., FARRE, J.A., and SHOR, A. 1985. Late quaternary slumps and debris flows of the Scotian Slope. *Geological Society of America, Bulletin 96(12)*: 1508-1517.

PIPER, D.J.W., SHOR, A.N., FARRE, J.A., O'CONNELL, S., and JACOBI, R. 1985. Sediment slides and turbidity currents on the Laurentian Fan: Sidescan sonar investigations near the epicenter of the 1929 Grand Banks earthquake. *Geology 13(8)*: 538-541.

PIPER, D.J.W., SPARKES, R., MOSHER, D.C., SHOR, A.N., and FARRE, J.A. 1985. Seabed instability near the epicentre of the 1929 Grand Banks earthquake. Geological Survey of Canada, Open File 1131.

PIPER, D.J.W., TAYLOR, R.B., and RICKETTS, P. 1985. Coastal geology and scenery, South Shore, Nova Scotia: Field trip A (14th Arctic Workshop on Arctic Land-Sea Interactions; Bedford Institute of Oceanography, Dartmouth, N.S.), Geological Survey of Canada, Open File 1322.

PODROUZEK, A.J. and BELL, J.S. 1985. Stress orientations from Wellbore Breakouts on the Scotian Shelf, Eastern Canada. Geological Survey of Canada, Paper 85-1B: 59-62.

POLEY, D.F., LAWTON, D.C. 1985. Acquisition and processing of high resolution reflection seismic data from permafrost affected areas of the Canadian part of the Beaufort Sea. Geological Survey of Canada, Paper 85-1A: 491-498.

RASHID, M.A. 1985. Geochemistry of marine humic compounds. New York; Springer-Verlag: 300 p.

REINSON, G. 1985. Sensitivity mapping of Nova Scotia coastline. *In* The Kurdistan Oil Spill of March 16-17, 1979: Activities and Observations of the Bedford Institute of Oceanography Response Team. *Eds.* J.H. Vandermeulen and D.E. Buckley. Canadian Technical Report of Hydrography and Ocean Sciences No. 35: 65-85.

ROOTS, W.D., ROOTS, S.R., and JACKSON, H.R. 1985. Oceanic crust next to passive margins: A structural origin for magnetic zones. Tectonophysics 113(3/4): 191-208.

ROSS, D.I. 1985. Sonar. *In The Canadian Encyclopedia*. Edmonton; Hurtig Publishers. V. 3: 1733.

SCHAFER, C.T. and CARTER, L. 1985. Western boundary undercurrent depositional features on the Labrador slope and rise near latitude 55°N EOS; *Transactions, American Geophysical Union 66(46)*: 937.

SCHAFER, C.T., TAN, F.C., WILLIAMS, D.F., and SMITH, J.N. 1985. Late glacial to recent stratigraphy, paleontology, and sedimentary processes: Newfoundland continental slope and rise. *Canadian Journal of Earth Sciences 22(2)*: 266-282.

SEGALL, M.P., BARRIE, J.V., LEWIS, C.F.M., and MAHER, M.L.J. 1985. Clay minerals across the tertiary-quarternary boundary, northeastern Grand Banks of Newfoundland: Preliminary results. Geological Survey of Canada, Paper 85-1B: 63-68.

SIMPKIN, P.G. and PARROTT, D.R. 1985. Effects of small scale seafloor roughness on acoustic reflectivity measurements on the Newfoundland Shelf. Geological Survey of Canada, Open File 1164.

SRIVASTAVA, S.P. 1985. Evolution of the Eurasian Basin and its implications to the motion of Greenland along Nares Strait. *In* Geophysics of the Polar Regions; Selected Papers from the Symposium on Geophysics of the Polar Regions, I.U.G.G. General Assembly (18th: 1983: Hamburg, F.R.G.); *Eds.* E.S. Husebye, G.L. Johnson, and Y. Kristoffersen. *Tectonophysics 114(1/4)*: 29-53.

SYVITSKI, J.P.M., ASPREY, K.W., CLATTENBURG, D.A., and HODGE, G.D. 1985. The prodelta environment of a fjord: Suspended particle dynamics. *Sedimentology 32(1)*: 83-107.

SYVITSKI, J.P.M. and SCHAFER, C.T. 1985. Sedimentology of Arctic Fiords Experiment (SAFE): Project introduction. *Arctic 38(4)*: 264-270.

TAYLOR, R.B. and FROBEL, D. 1985. Beach reconnaissance of southeast Cape Breton Island in support of oil spill cleanup operations. *In* The Kurdistan Oil Spill of March 16-17, 1979: Activities and Observations of the Bedford Institute of Oceanography Response Team; *Eds.* J.H. Vandermeulen and D.E. Buckley. Canadian Technical Report of Hydrography and Ocean Sciences No. 35: 87-100.

TAYLOR, R.B. and KELLY, B.J. 1985. Beach observations along the east coast of Cape Breton Highlands National Park, Nova Scotia. Geological Survey of Canada, Open File 1119.

TAYLOR, R.B., WITTMANN, S.L., MILNE, M.J., and KOBER, S.M. 1985. Beach morphology and coastal changes at selected sites, mainland Nova Scotia. Geological Survey of Canada, Paper 85-012.

TAYLOR, R.B., WITTMANN, S.L., MILNE, M.J., and KOBER, S.M. 1985. Coastal surveys (1981) along mainland Nova Scotia. Geological Survey of Canada, Open File 976.

THOMAS, F.C. and MURNEY, M.G. 1985. Techniques for extraction of foraminifers and ostracodes from sediment samples. Canadian Technical Report of Hydrography and Ocean Sciences No. 54.

VANDERMEULEN, J.H. and BUCKLEY, D.E. 1985. BIO spill response. *In* The Kurdistan oil spill of March 16-17, 1979: Activities and observations of the Bedford Institute of Oceanography Response Team; *Ed.* J.H. Vandermeulen and D.E. Buckley. Canadian Technical Report of Hydrography and Ocean Sciences No. 35: 19-29.

VANDERMEULEN, J.H. and BUCKLEY, D.E. (Editors) 1985. The Kurdistan oil spill of March 16-17, 1979: Activities and observations of the Bedford Institute of Oceanography Response Team. Canadian Technical Report of Hydrography and Ocean Sciences No. 35.

VILKS, G., BUCKLEY, D., and KEIGWIN, L. 1985. Late quaternary sedimentation on the southern Sohm Abyssal Plain. *Sedimentology 32(1)*: 69-82.

VILKS, G.M. and SYVITSKI, J.P.M. (Editors). 1985. Abstracts of the 14th Arctic Workshop on Arctic Land-Sea Interactions: Geological Survey of Canada, Open File 1223.

WEBER, J.R. and JACKSON, H.R. 1985. CESAR Bathymetry. *In* Initial Geological Report on CESAR — the Canadian Expedition to Study the Alpha Ridge, Arctic Ocean; *Eds.* H.R. Jackson, P.J. Mudie, and S.M. Blasco. Geological Survey of Canada, Paper 84-22: 15-17.

WILLIAMSON, M.A. 1985. Recent foraminiferal diversity on the continental margin off Nova Scotia, Canada. *Journal of Foraminiferal Research 15(1)*: 43-51.

W.B. BARRIE-AND-ASSOCIATES and TAYLOR, R.B., 1985. Coastal geomorphology and processes, northwestern Bathurst Island group, NWT. Geological Survey of Canada, Open File 1146.

DIVISION DES POISSONS DE MER

CARROTHERS, P.J.G., *et al.* 1985. Fishing yarns, netting and nets. National Standard of Canada CAN2-*55-1* — M85.

BOWEN, W.D. 1985. Harp seal feeding and interactions with commercial fisheries in the northwest Atlantic, *In* Marine Mammals and Fisheries; *Eds.* J.R. Beddington, R.J.H. Beverton, and D.M. Lavigne. London: George Allen & Unwin: 135-152.

BOWEN, W.D. 1985. The coyote (*Canis latrans* say) *In* Carnivors; *Eds.* G. Bateman and D. MacDonald. Oxford; Elsevier: 62-63.

BOWEN, W.D. 1985. An estimate of the proportion of recovered harp seal tags not returned for reward: The 1983 mark-recapture experiment. Northwest Atlantic Fisheries Organization, Scientific Council Research Document 85/1/2.

BOWEN, W.D., OFTEDAL, O.T., and BONESS, D.J. 1985. Birth to weaning in four days: Remarkable growth in the hooded seal, *Cystophora cristata. Canadian Journal of Zoology 63*: 2841-2846.

BOWEN, W.D. and SERGEANT, D.E. 1985. A mark-recapture estimate of harp seal pup production in 1983. Northwest Atlantic Fisheries Organization, Scientific Council Research Document 85/1/1.

CAMPANA, S.E. and NEILSON, J.D. 1985. Microstructure of fish otoliths. *Canadian Journal Fisheries and Aquatic Sciences 42*: 1014-1032.

CAMPANA, S. and SIMON, J. 1985. An analytical assessment of the 4X cod fishery. Canadian Atlantic Fisheries Scientific Advisory Committee, Research Document 85/32.

CARROTHERS, P.J.G. 1985. International standards for fishing gear — A review. International Council for the Exploration of the Sea, Document C.M. 1985/B:2.

CARROTHERS, P.J.G. 1985. Canadian report of activities for 1984 to Fish Capture Committee. *In* International Council for the Exploration of the Sea, Document C.M. 1985/B:1: 3-5.

da SILVA, J. and NEILSON, J.D. 1985. Limitations of using otoliths recovered in scats to estimate prey consumption in seals. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 42*: 1439-1442.

GAVARIS, S. and SINCLAIR, A. 1985. Abundance indices of 4VsW cod. Canadian Atlantic Fisheries Scientific Advisory Committee, Research Document 85/39.

GAVARIS, S. and SMITH, S.J. 1985. A comparison of survey stratification schemes based on depth and on historical spatial dispersion. Northwest Atlantic Fisheries Organization, Scientific Council Research Document 85/93.

GEEN, G.H., NEILSON, J.D., and BRADFORD, M. 1985. Effects of pH on the early development and growth and otolith microstructure of chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Canadian Journal of Zoology 63*: 22-27.

HALLIDAY, R.G. and DALE, C. 1985. Atlantic argentine (*Argentina silus* Ascanius): Stock status on the Scotian Shelf and a discussion of relationships with Georges Bank argentine. Canadian Atlantic Fisheries Scientific Advisory Committee, Research Document 85/44.

HALLIDAY, R.G., McGLADE, J., MOHN, R., O'BOYLE, R.N., and SINCLAIR, M. 1985. Resource and fishery distributions in the Gulf of Maine area in relation to the Subarea 4/5 boundary. Northwest Atlantic Fisheries Organization, Scientific Council Research Document 85/96.

HAY, K., MYERS, R.A., and BOWEN, W.D. 1985. Estimation of pup production of hooded seals (*Cystophora cristata*) in the Northwest Atlantic during March 1984. Northwest Atlantic Fisheries Organization, Scientific Council Research Document 85/1/14.

KENCHINGTON, T.J. 1985. Some computer procedures and programs for extracting data from Scotian Shelf ichthyoplankton program files in a format suitable for plotting. Marine Fish Division Laboratory Reference No. 85/2.

KENCHINGTON, T.J. 1985. Computer (Job and Program) software for calculating matrices of distances in morphological hyperspace, as input to clustering programs. Marine Fish Division Laboratory Reference No. 85/3.

KOELLER, P., COATES-MARKLE, L., PERLEY, P., and NEILSON, J.D. 1985. Juvenile fish surveys on the Scotian Shelf: Implications for year-class size assessments. Northwest Atlantic Fisheries Organization, Research Document 85/83.

MAHON, R. 1985. Local size related segregation of fishes in streams. *Archiv fuer Hydrobiologie 103*: 267-271.

MAHON, R. 1985 (Editor). Towards the inclusion of fishery interactions in management advice. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences No. 1347.

MAHON, R. and BALON, E.K. 1985. Fish production in warmwater streams in Poland and Ontario. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 42*: 1211-1215.

MAHON, R., SIMPSON, P., and WALDRON, D.E. 1985. The eastern Scotian Shelf (4VWX) haddock stock and fishery in 1984, with a historical perspective on stock and recruitment back to 1948. Canadian Atlantic Fisheries Scientific Advisory Committee, Research Document 85/47.

NEILSON, J.D. and GEEN, G.H. 1985. Effect of feeding regimes and diel temperature cycles on otolith increment formation in juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Fisheries Bulletin 83*: 91-101.

NEILSON, J.D. and GEEN, G.H. 1985. Variability in dimensions of salmonid otolith nuclei: Implications for stock identification and microstructure interpretation. *Fisheries Bulletin 83*: 81-89.

NEILSON, J.D., GEEN, G.H. and BOTTOM, D. 1985. Estuarine growth of juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) as inferred from otolith microstructure. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 42*: 899-908.

NEILSON, J.D. and PERLEY, P. 1985. A review of the status of the 4VWX flatfish stocks (exclusive of the halibuts). Canadian Atlantic Fisheries Scientific Advisory Commitee, Research Document 85/42.

O'BOYLE, R. 1985. Stock assessment postmortem. Marine Fish Division Laboratory Reference No. 85/1.

O'BOYLE, R. 1985. The Haddock. *In* Underwater World Series. DFO/1246. UW/48.

O'BOYLE, R. and GREGORY, R. 1985. An evaluation of the population dynamics of 4X haddock during 1962-84 with yield projected to 1986. Canadian Atlantic Fisheries Scientific Advisory Committee, Research Document 85/109.

PERLEY, P., NEILSON, J.D. and ZWANENBURG, K. 1985. A review of the status of the 4VWX halibut stocks. Canadian Atlantic Fisheries Scientific Advisory Committee, Research Document 84/43.

PERRY, R.I. and GAVARIS, S. 1985. The relation of cod distributions with environmental conditions on the eastern Scotian Shelf, 1970-84. Northwest Atlantic Fisheries Organization, Scientific Council Research Document 85/94.

PINHORN, A.T. and HALLIDAY, R.G. 1985. A framework for identifying fisheries management problems associated with the influence of environmental factors on distribution and migration of marine species. Northwest Atlantic Fisheries Organization, Scientific Council Studies 8: 83-92.

SCOTT, J.S. 1985. Canadian Research Report, 1985. Section II, Scotia-Fundy. Northwest Atlantic Fisheries Organization, Scientific Council Summary Document 85/10: 9-13.

SCOTT, J.S. 1985. Digenean (Trematoda) populations in winter flounder (*Pseudopleuronectes americanus*) from Passamaquoddy Bay, New Brunswick, Canada. *Canadian Journal of Zoology 63(7)*: 1699-1705.

SCOTT, J.S. 1985. Program of research by Canada (Scotia-Fundy Region) in the NAFO area for 1985. Northwest Atlantic Fisheries Organization Circular, Letter 85/36.

SCOTT, J.S. 1985. Occurrence of alimentary tract helminth parasites of pollock (*Pollachius virens* L.) on the Scotian Shelf. *Canadian Journal of Zoology 63(7)*: 1695-1698.

SCOTT, J.S. 1985. Sand lance: *In* Underwater World Series. DFO/2122. UW/46.

SCOTT, J.S. 1985. Spatial and temporal patterns of groundfish distribution on the Scotian Shelf and Bay of Fundy. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences No. 1300.

SCOTT, J.S. and GAVARIS, S. 1985. Age-related temporal and seasonal changes in distribution of cod on the eastern Scotian Shelf. Northwest Atlantic Fisheries Organization, Scientific Council Research Document 85/92.

SINCLAIR, A. and GAVARIS, S. 1985. Sequential population analysis of 4VsW cod following the 1984 fishery. Canadian Atlantic Fisheries Scientific Advisory Committee, Research Document 85/48.

SINCLAIR, M., ANTHONY, V.C., ILES, T.D., and O'BOYLE, R. 1985. Stock assessment problems in Atlantic herring (*Clupea harengus*) in the Northwest Atlantic. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 42*: 888-898.

SMITH, S.J. and SINCLAIR, A.F. 1985. 4Vn cod (May-December): Status review for the 1984 fishing year. Canadian Atlantic Fisheries Scientific Advisory Committee, Research Document 85/63.

STOBO, W.T. 1985. Stock assessment postmortem. Marine Fish Division Laboratory Reference No. 85/4.

STOBO, W.T. and BECK, B. 1985. Preliminary analysis of seasonal sealworm burdens in Sable Island grey seals (*Halichoerus grypus*) and size

related differences. International Council for the Exploration of the Sea. C.M. 1985/N:3. 12 p.

THORSTEINSSON, G., and CARROTHERS, P.J.G. 1985. Fish capture committee report to council. *In* Procès-Verbal de la Réunion, 1985. Conseil International pour l'Exploration de la Mer.

ZWANENBURG, K. 1985. Redfish in management unit 4VWX: A history of stock definition and assessment of present status. Canadian Atlantic Fisheries Scientific Advisory Committee, Research Document 85/61.

ZWANENBURG, K., BOWEN, W.D., and SERGEANT, D.E. 1985. Assessment of Northwest Atlantic grey seal (*Halichoerus grypus*) pup production for 1977 to 1984. Canadian Atlantic Fisheries Scientific Advisory Committee, Research Document 85/67.

Kelly Bentham

Panneau de commande de l'ordinateur central CYBER 840 nouvellement installé.

SERVICE HYDROGRAPHIQUE DU CANADA (RÉGION DE L'ATLANTIQUE)

KERR, A.J. 1985. An opinion: Computer assistance — does it increase hydrographic productivity? *Lighthouse 31*: 3-4.

KERR, A.J. 1985. Gazetteer of undersea feature names (1983) [Book Review]. *Cartographica 22(3)*: 120-121.

KERR, A.J. 1985. DFO's DOLPHIN. *Ocean Resources, Canada's Fisheries and Offshore Magazine 3(2)*: 20.

KERR, A.J. 1985. Navigation chart design. *Journal of Navigation 38(1)*: 56-70.

KERR, A.J. 1985. The influence of international standards on the training and education of hydrographers. *The Canadian Surveyor 39(4)*: 345-351 and *Lighthouse 32*: 29-31.

KERR, A.J. and DINN, D.F. 1985. The use of robots in hydrography. *International Hydrographic Review LXII(1)*: 41-52.

KERR, A.J., EATON, R.M., and ANDERSON, N.M. 1985. Electronic chart — present status and future problems. *In* Proceedings of the Fifth International Congress of the International Association of the Institutes of Navigation (IAIN), Tokyo, Japan.

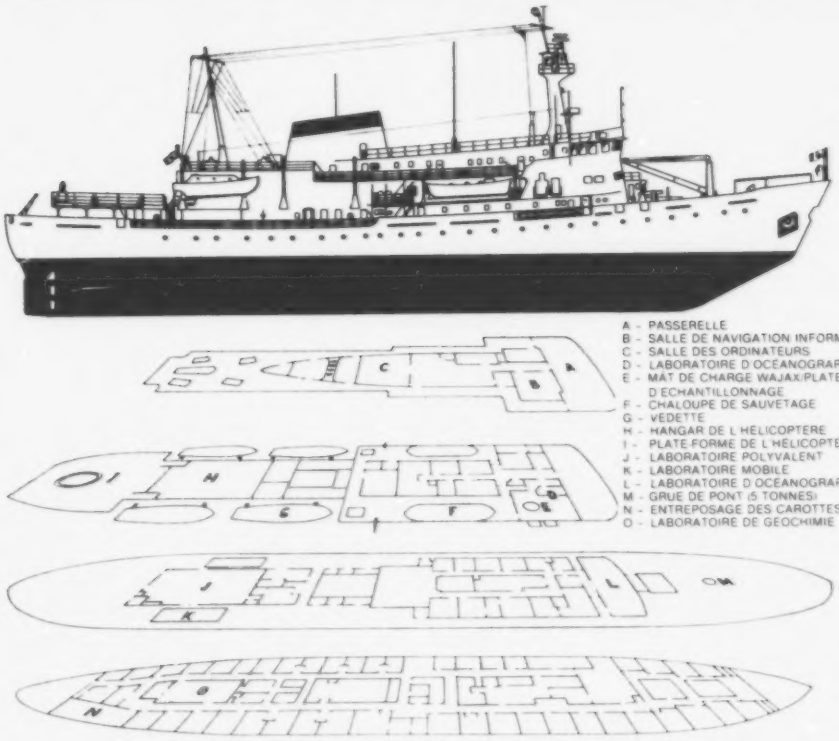
KERR, A.J. and KEEN, M.J. 1985. Hydrographic and geologic concerns of implementing Article 76. *International Hydrographic Review LXII(1)*: 139-148.

SMITH, A.S. 1985. Digital charting — where do we go from here? *In* Proceedings of 1st Biennial Canadian Hydrographic Conference (April, 1985: Halifax, N.S.)

VARMA, H.P. 1985. Evaluation of the Qubit Trac IVB. *Lighthouse 31*.

VARMA, H.P. 1985. An interactive graphics editor for hydrography. *In* Proceedings of 1985 Symposium, New Orleans, Louisiana.

Expéditions

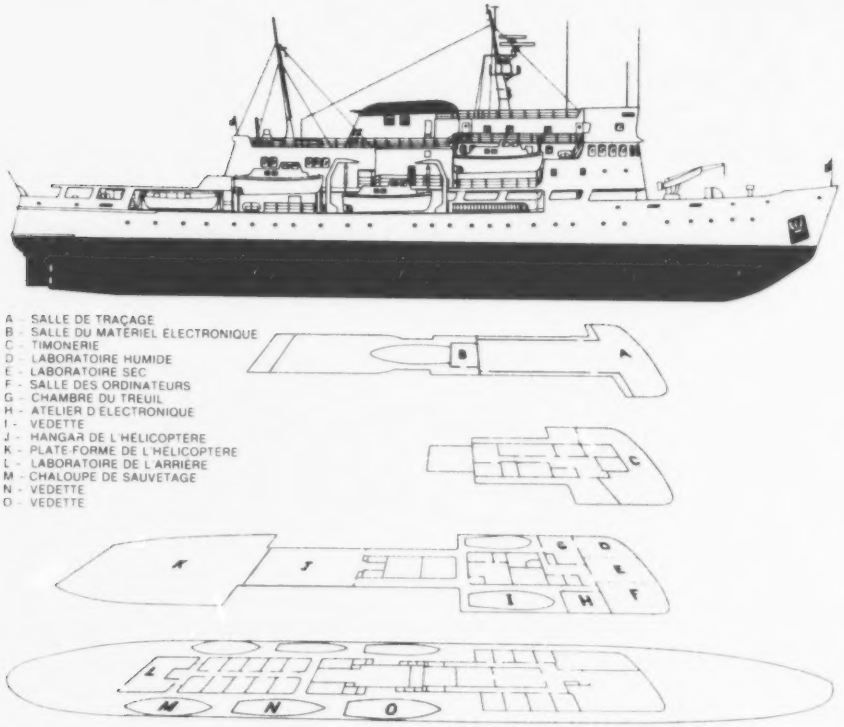


NSC HUDSON

- Le nsc *Hudson* est un navire à propulsion diesel-électrique équipé et utilisé pour des projets pluridisciplinaires de recherche océanographique. Il appartient au ministère fédéral des Pêches et des Océans, et est utilisé par la Région Scotia-Fundy.
- Caractéristiques principales — coque Lloyds Ice Class I ... construit en 1963 ... 90,4 m de longueur hors-tout ... 15,3 m de largeur hors-tout ... 6,3 m de tirant d'eau maximum ... 4 870 tonnes de déplacement ... 3 721 tonnes de jauge brute ... vitesse maximum de 17 noeuds ... vitesse de croisière de 13 noeuds sur une mer de force 3 ... autonomie de 80 jours et 23 000 milles marins à vitesse de croisière ... équipe scientifique de 26 personnes ... superficie de 205 m^2 répartie en 4 laboratoires ... 2 ordinateurs HP1000 ... plate-forme et hangar pour hélicoptère ... 2 hélices et propulseur d'étrave pour tenir la position ... 4 vedettes de levé.
- 224 jours en mer et 28 838 milles marins parcourus en 1985.

ANNÉE ET N° DE L'EXPÉDITION	DATES	RESPONSABLES	ZONE COUVERTE	OBJECTIFS
85-001	18 au 29 mars	D. Piper, CGA	Cône Laurentien, monts Fogo	Étude de la stabilité du front, des rides du gravier et de l'évolution d'une vallée du Pleistocène
85-005	31 mars au 24 avril	G. Fader, CGA	Grands Bancs et chenal Avalon	Cartographie de la roche en place et essais de la foreuse NORDCO et du materiel de positionnement acoustique
85-010	30 avril au 27 mai	L. Mayer, Université Dalhousie	Fracture Kane	Levé du site de forages futurs; expérience avec la foreuse
85-14	29 mai au 27 juin	N. Oakey, LOA	Dorsale médio-atlantique	Mélange océanique
85-018	30 juin au 14 juillet	J. Lazier, LOA	Banc Hamilton	Étude du courant du Labrador
85-020	22 juillet au 13 août	W. Harrison, LEM	Golfe du Maine/ Gulf Stream	Données biologiques, optiques et physiques sur les zones des fronts de marée et sur l'eau de la mer des Sargasses
85-025	19 août au 1 sept.	I. Reid, CGA	Sud du Bonnet Flamand	Étude de la structure crustale profonde en travers de la zone de transition entre croûte continentale et croûte océanique par des méthodes de sismique réfraction
85-027	23 sept. au 27 oct.	B. MacLean, CGA	Détroit de Davis, baie Baffin et détroit d'Hudson	Échantillonnage superficiel dans la baie Baffin pour des études paléoécologiques, cartographie et échantillonnage des dépôts meubles et de la roche en place peu profonde à l'aide de foreuses à roche et de techniques sismiques à haute résolution

85-031	3 au 22 sept.	K. Drinkwater, LEM	Détroit d'Hudson	Spectres de la taille des particules
85-034	30 oct. au 12 nov.	K. Louden, Université Dalhousie	Mer du Labrador	Mesures du flux thermique, profils sismiques
85-044	14 au 21 nov.	K. Manchester, CGA	Chenal des Icebergs	Échantillonnage de la roche en place dans le détroit d'Hudson avec la foreuse NORDCO; carottage à piston et collecte de données de sismique réflexion à haute résolution

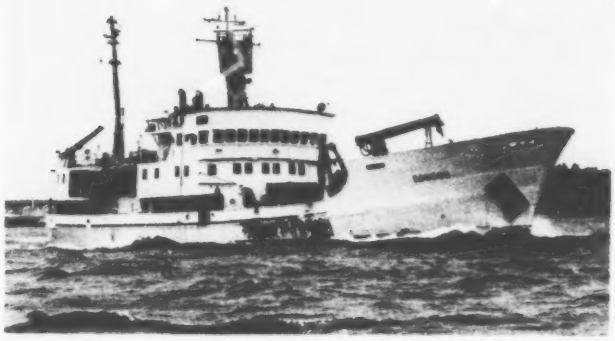


NSC BAFFIN

- Le nsc *Baffin* est un navire à propulsion diesel équipé pour les levés hydrographiques mais servant aussi pour l'océanographie en général. Il appartient au ministère fédéral des Pêches et des Océans, et est utilisé par la Région Scotia-Fundy.
- Caractéristiques principales — coque Lloyds Ice Class I ... construit en 1956 ... 87 m de longueur hors-tout ... 15 m de largeur hors-membre ... 5,7 m de tirant d'eau maximum ... 4 986 tonnes de déplacement ... vitesse maximum de 15,5 noeuds ... vitesse de croisière de 10 noeuds sur mer de force 3 ... autonomie de 76 jours et 18 000 milles marins à vitesse de croisière ... équipe hydrographique de 29 personnes ... locaux prévus pour le dessin, le traçage et les laboratoires ... 2 ordinateurs HP1000 ... plate-forme et hangar pour hélicoptère ... 2 hélices et propulseur d'étrave pour tenir la position ... 6 vedettes de levé.
- 211 jours en mer et 32 140 milles marins parcourus en 1985.

ANNÉE ET N° DE L'EXPÉDITION	DATES	RESPONSABLES	ZONE COUVERTE	OBJECTIFS
85-003	1 au 8 avril	R. Gershey, Université Dalhousie	Plate-forme Scotian	Métaux en traces et caractéristiques organiques des masses d'eau
85-006	8 au 13 avril	A. Koslow, Université Dalhousie	Sud-ouest de la Nouvelle-Écosse	Dérive de l'ichthyoplancton d'églefin, état des larves de morue et d'églefin
85-007	22 au 29 avril	C. Amos, CGA	Île de Sable, Banquereau	Mouillage et récupération de courantomètres, détection avec des traceurs radio-actifs du déplacement des sédiments et levés sismiques à haute résolution
85-009	2 au 30 mai 3 juin au 5 juillet 8 au 26 juillet	G. Henderson, SHC	Banc St-Pierre	Cartes de navigation standard
85-023	6 août au 30 sept.	M. Swim, SHC	Labrador, nord-est Baffin, île Cameron	Cartes de navigation standard
85-029	1 au 13 oct.	C. Ross, LOA	Baie Baffin	Circulation dans la baie Baffin
85-035	28 oct. au 29 nov.	M. Swim, SHC	Chenal Grand Manan	Cartes de navigation standard

NSC DAWSON



Heinz Wiele

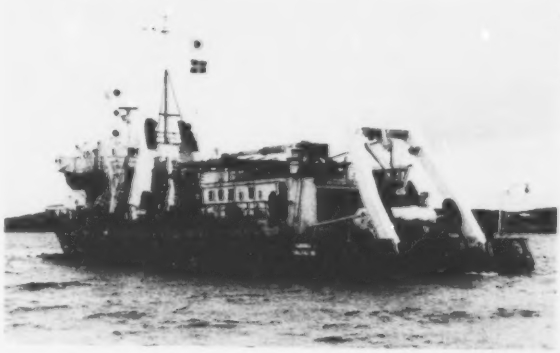
- Le nsc *Dawson* est un navire à propulsion diesel équipé pour la recherche océanographique pluridisciplinaire, les levés hydrographiques et la mise en place d'instruments en eau profonde et par petits fonds. Il appartient au ministère fédéral des Pêches et des Océans, et est utilisé par la Région Scotia-Fundy.
- Caractéristiques principales — construit en 1967 ... 64,5 m de longueur hors-tout ... 12 m de largeur hors-membre ... 4,9 m de tirant d'eau maximum ... 1 940 tonnes de déplacement ... 1 311 tonnes de jauge brute ... vitesse maximum de 14 noeuds ... vitesse de croisière de 10 noeuds sur une mer de force 3 ... autonomie de 45 jours et 11 000 milles marins à vitesse de croisière ... équipe scientifique de 13 personnes ... superficie de 87,3 m^2 répartie en 4 laboratoires ... salle d'ordinateurs ... 2 hélices et propulseur d'étrave pour tenir la position ... une vedette de levé.
- 204 jours en mer et 24 609 milles marins parcourus en 1985.

ANNÉE ET N° DE L'EXPÉDITION	DATES	RESPONSABLES	ZONE COUVERTE	OBJECTIFS
85-004	2 au 18 avril	R. Hendry, LOA	Gulf Stream	Récupération de courantomètres
85-008	22 avril au 6 mai	S. Smith, LOA	Grands Bancs/ plateau du Labrador	Repérage de la dérive des icebergs
85-012	8 au 21 mai	K. Frank, LEM	Banc Browns	Mesure des processus de production halieutique
85-013	23 au 29 mai	P. Smith, LOA	Cap de Sable	Études du banc Browns
85-015	1 au 14 juin	D. Sameoto, LEM	Plate-forme Scotian, Banquereau	Distribution de la chlorophylle et du zooplancton
85-017	19 juin au 15 juillet	P. Yeats, LOA	Plate-forme Scotian	Distribution des métaux
85-019	9 au 14 juillet	R. Boyd, Université Dalhousie	Banc de l'île de Sable	Cartographie et évaluation des propriétés des sédiments
85-022	19 juillet au 12 août	R. Haedrich, Université Memorial	Baie d'Espoir/Fortune	Étude des chaînes alimentaires pélagiques et du couplage benthique/pélagique; flux thermique et histoire sédimentaire
85-024	16 au 29 août	H. Sandström, LOA	Grands Bancs	Poussées de courants
85-026	3 au 22 sept.	W. Harrison, LEM	Chenal Avalon	Distribution et activité métabolique du plancton et des bactéries
85-028	16 sept. au 1 oct.	A. Herman, LOA	Plate-forme Scotian	Étude du zooplancton
85-032	15 au 25 oct.	D. McKeown, LOA	Plate-forme Scotian	Essais du matériel
85-036	5 au 8 nov.	D. Piper, CGA	Lacs Bras-d'Or	Stratigraphie acoustique de la fin du Quaternaire pour les lacs Bras-d'Or, histoire des eaux profondes (isotopes du carbone), géologie des dépôts meubles et de la roche en place
85-037	18 oct. au 4 nov.	C. Amos, Phase I R. Sparks, Phase II, CGA	Région de l'île de Sable	Levés sismiques à haute résolution, sonar latéral, échantillons de dépôts meubles et étude avec traceurs radioactifs pour mesurer le transport des sédiments
85-039	12 au 19 nov.	G. Bugden, LOA	Golfe du St-Laurent	Prévision des glaces
85-040	22 nov. au 5 déc.	T. Foote, LOA	Plate-forme Scotian	Études à échelle moyenne
85-041	9 au 16 déc.	J. Smith, LOA	Pointe Lepreau, baie de Fundy	Surveillance de l'environnement

PANDORA II

- Le *Pandora II*, bateau d'avitaillement en haute mer, qui appartient à la Northlake Shipping Ltd., est affrété par le ministère des Pêches et des Océans pour servir de navire-mère au submersible *Pisces IV*.

- Caractéristiques principales — construit en 1974 ... 58,2 m de longueur hors-tout ... 4,6 m de largeur ... 1,377 tonnes de jauge brute ... vitesse maximum de 13 noeuds ... vitesse de croisière de 10,5 noeuds ... autonomie de 100 jours à la vitesse de croisière ... portique pour la manutention des submersibles ... installations de repérage des submersibles ... ateliers complets pour la mécanique, l'électronique et les batteries des submersibles.



Heinz Wiele

ANNÉE ET N° DE L'EXPÉDITION	DATES	RESPONSABLES	ZONE COUVERTE	OBJECTIFS
85-050	10 au 19 mai	D. Forbes, CGA	Plate-forme Scotian	Étude de divers types de fond dans la zone extérieure du port d'Halifax
85-053	7 au 10 juin	B. Hargrave, LEM	Rebord de la plate-forme Scotian	Comportement de la matière particulaire près du fond marin
85-054	20 au 26 mai	C. Amos, CGA	Île de Sable et Banquereau	Évaluation de l'interprétation des données sur les dépôts meubles, obtenues par la sismique ou au sonar latéral, par inspection
85-055	12 au 22 juin	K. Kranck, LOA	Rebord de la plate-forme Scotian	Étude sur les particules
85-056	24 au 29 juin	R. Haedrich, Université Memorial	Côte est, sud-est de Terre-Neuve	Transects photographiques du fond et des parois d'un fjord
85-057	30 juin au 13 juillet	G. Fader, CGA	Grands Bancs	Observations et échantillonnage du fond marin
85-058	14 au 21 juillet	K. Frank, LEM	Sud-est des Grands Bancs	Caractéristiques biologiques et physiques des frayères de capelan
85-059	21 juillet au 2 août	D. Piper, CGA	Cône laurentien	Vérification des données de Sea Marc I sur les zones de glissement du Cône laurentien
85-062	31 août au 23 sept.	J. Syvitski, CGA	Fjords de l'île Baffin	Étude, cartographie et vérification des caractéristiques des dépôts meubles
85-063	23 sept. au 5 oct.	E. Levy/C. Ross, LOA	Île Baffin	Étude d'un suintement naturel à l'inlet Scott; récupération de courantomètres
85-064	14 au 20 oct.	C.F.M. Lewis, CGA	Grands Bancs et Cône laurentien	Vérification de la géologie des dépôts meubles d'une zone déjà cartographiée
85-065	25 oct. au 3 nov.	B. Hargrave, LEM	Bassin Emerald, talus continental	Mesure des flux pénétrant dans le sédiment et en sortant; effets de la boue de forage pétrolier

NSC MAXWELL

Roger Belanger

- Le nsc *Maxwell* est un navire à propulsion diesel équipé et utilisé pour les levés hydrographiques côtiers. Il appartient au ministère fédéral des Pêches et des Océans, et est utilisé par la Région Scotia-Fundy.
- Caractéristiques principales — construit en 1962 ... 35 m de longueur hors-tout ... 5,6 m de largeur hors-membre ... 2,1 m de tirant d'eau maximum ... 270 tonnes de déplacement ... 262 tonnes de jauge brute ... vitesse maximum de 12,2 noeuds ... vitesse de croisière de 10 noeuds sur une mer de force 2 ... autonomie de 10 jours et 2 400 milles marins à vitesse de croisière ... équipe scientifique de 7 personnes ... installations de dessin et de traçage ... 2 vedettes de levé.
- 180 jours en mer et 2 513 milles marins parcourus en 1985.

ANNÉE ET N° DE L'EXPÉDITION	DATES	RESPONSABLES	ZONE COUVERTE	OBJECTIFS
85-011	1 mai au 18 oct.	J. Goodyear, SHC	Passamaquoddy	Cartes de navigation standard
85-033	25 oct. au 8 nov.	M. Eaton, SHC	Bassin Bedford	Essais du système global de positionnement et de la carte électronique

Heinz Wiele

NSC NAVICULA

- Le nsc *Navicula* est un bateau de pêche à coque de bois appartenant au ministère des Pêches et des Océans; il est utilisé pour des recherches en océanographie biologique par la Région Scotia-Fundy.
- Caractéristiques principales — construit en 1968 ... 19,8 m de longueur hors-tout ... 5,5 m de largeur hors-membre ... 110 tonnes de déplacement ... 78 tonnes de jauge brute.
- 168 jours en mer et 3 445 milles marins parcourus en 1985.

ANNÉE ET N° DE L'EXPÉDITION	DATES	RESPONSABLES	ZONE COUVERTE	OBJECTIFS
85-016	3 mai au 13 juillet	T. Lambert	Sud-ouest de la Nouvelle-Écosse/Banc Georges	Début du cycle biologique de la morue et de l'églefin
85-042	29 juillet au 24 oct.	J. Ferguson, SHC	Détroit de Northumberland	Révision des cartes de navigation
85-043	15 au 24 juillet	K. Tay, SPE	Port Hawkesbury	Examen d'un site de décharge

LADY HAMMOND

- Le *Lady Hammond*, chalutier transformé, appartient à la Northlake Shipping Ltd. et est affrété par le ministère des Pêches et des Océans pour mener des recherches sur les pêches. Il est utilisé par la Région Scotia-Fundy; son usager principal est la Division des poissons de mer qui possède des éléments à l'IOB et à St. Andrews (N.-B.). Sauf indication contraire, dans tout le reste du chapitre, les « responsables » relèvent de la région Scotia-Fundy du Service des pêches de l'Atlantique. Le personnel des autres régions (Québec, Golfe ou Terre-Neuve) est signalé par son appartenance.
- Caractéristiques principales — construit en 1972 ... 54 m de longueur hors-tout ... 11 m de largeur hors-membre ... 5,5 m de tirant d'eau maximum ... 306 tonnes de jauge brute ... vitesse maximum de 13,5 noeuds ... vitesse de croisière de 12 noeuds.

Roger Belanger

ANNÉE ET N° DE L'EXPÉDITION	DATES	RESPONSABLES	ZONE COUVERTE	OBJECTIFS
H130	28 janv. au 1 fév. et 4 au 22 fév.	J. Reid	Plate-forme Scotian	Essais d'engins
H131	26 fév. au 8 mars	W.D. Smith	OPANO 4X, 5Z	Marquage des morues pendant la fraye
H132	11 au 29 mars	P. Hurley	Plate-forme Scotian	Étude de l'ichthyoplancton
H133	1 au 19 avril	P. Hurley	OPANO 4X	Étude de l'ichthyoplancton
H134	22 avril au 3 mai	B. Hickey	Ouest de la plate-forme Scotian	Sélectivité comparée des mailles carrées et en losange pour les culs de chalut
H135	6 au 17 mai	P. Hurley	OPANO 4X	Étude de l'ichtyoplancton
H136	20 au 31 mai	B. Hickey	Plate-forme Scotian	Sélectivité comparée des mailles carrées et en losange pour les culs de chalut
H137	3 au 14 juin	P. Hurley	OPANO 4X	Étude de l'ichthyoplancton
H138	17 au 27 juin	R.I. Perry	OPANO 4X et partie canadienne du banc Georges	Étude des jeunes églefins
H139	8 au 26 juillet	Pringle/Harding	OPANO 4X, 5Ze	Répartition des larves de homards
H140	6 au 30 août	P. Rubec, Golfe	OPANO 4RST	Étude de l'abondance du sébaste
H141	6 au 16 sept. 5 au 25 sept.	L. Currie, Golfe	OPANO 4T	Étude du poisson de fond dans le sud du Golfe et pêche comparée avec le *E.E. Prince*
H142	30 sept. au 11 oct.	M.J. Trembley	Baie de Fundy, sud-ouest de la Nouvelle-Écosse et banc Georges	Répartition des larves de pétoncles
H143	14 au 18 oct.	G. McClelland	OPANO 4VWX	Étude sur les parasites de la plie canadienne
H144	21 au 31 oct.	P. Fanning	Plate-forme Scotian	Pêche comparée avec l'*Alfred Needler*
H145	6 au 14 nov.	J. Reid	OPANO 5Y	Répartition des larves de harengs
H146	18 au 29 nov.	G. McClelland	OPANO 4VWX	Étude sur les parasites de la plie canadienne
H147	4 au 13 déc.	J. McGlade	OPANO 4VWX et sous-zone 5	Structure des stocks et abondance de la goberge, avec étude des oeufs et des larves dans les frayères

E.E. PRINCE

- Le *E.E. Prince* est un chalutier arrière à coque d'acier servant à la recherche halieutique et à la pêche expérimentale et exploratoire. Propriété du ministère fédéral des Pêches et des Océans, il est utilisé par la Région Scotia-Fundy.
- Caractéristiques principales — construit en 1966 ... 39,9 m de longueur hors-tout ... 8,2 m de largeur hors-tout ... 3,6 m de tirant d'eau maximum ... 421 tonnes de déplacement ... 406 tonnes de jauge brute.

Roger Belanger

ANNÉE ET N° DE L'EXPÉDITION	DATES	RESPONSABLES	ZONE COUVERTE	OBJECTIFS
P317	18 janv. au 21 fév.	U. Buerkle	OPANO 4WA	Levé acoustique hivernal du hareng, baie Chedabucto
P317A	4 au 18 mars	A. Wilson, LEM	OPANO 4X, 5Y	Étude saisonnière du benthos
P318	22 au 29 mars	L. Dickie, LEM	OPANO 4X	Levé acoustique avec ECOLOG
P319	2 au 11 avril	A. Wilson, LEM	OPANO 4X, 5Y	Étude saisonnière du benthos
P320	15 au 22 avril	M. Etter	OPANO 4Vn	Étude de la crevette
P321	5 au 8 mai	R. Dufour, Québec	OPANO 4T	Marquage du crabe des neiges
P322	13 au 24 mai	M. Lundy	OPANO 4W, 4X	Étude du pétoncle géant
P323	31 mai au 14 juin	R. Tizzard, T.-N.	OPANO 3L	Étude sur le comportement de la morue
P324	19 juin au 8 juillet	B. Mercille, Québec	OPANO 4T, 4Vn	Étude des oeufs et larves de maquereau
P325	22 juillet au 1 août	W.D. Smith	OPANO 4X	Marquage de l'églefin et de la morue
P326	6 au 28 août	G. Robert	OPANO 5Ze	Étude sur le pétoncle géant
P327	4 au 26 sept.	G. Chouinard, Golfe	OPANO 4T	Étude de l'abondance du poisson de fond; pêche comparée avec le *Lady Hammond*
P328	7 au 15 oct.	M. Etter	OPANO 4V	Étude de la crevette
P329	21 oct. au 15 nov.	M. Power	OPANO 4X, 5Z	Étude des larves de harengs

Roger Belanger

ALFRED NEEDLER

- L'*Alfred Needler* est un navire à propulsion diesel qui appartient au ministère fédéral des Pêches et des Océans. Il est utilisé pour la recherche sur les pêches par la Région Scotia-Fundy.
- Caractéristiques principales — construit en 1982 ... 50,3 m de longueur hors-tout ... 10,9 m de largeur ... 925,03 tonnes de jauge brute ... équipe scientifique de 10 personnes ... équipement ultra-moderne : systèmes de communication, appareils électroniques, aides à la navigation, instruments de recherche et engins de pêche.

ANNÉE ET N° DE L'EXPÉDITION	DATES	RESPONSABLES	ZONE COUVERTE	OBJECTIFS
N039	3 au 22 janv.	J.H. Young	Halifax — Miami	Répartition des larves et des jeunes calmars
N040	4 au 25 fév.	B. Short, T.-N.	OPANO 3M, 3N	Étude du saumon sur le Grand Banc

N041	28 fév. au 8 mars	J.S. Scott	OPANO 4X, 4W	Étude de l'abondance du poisson de fond
N042	11 mars au 4 avril	D.L. Lyon	OPANO 4X, 5Z	Marquage de l'églefin pendant la fraye
N043	10 au 27 avril	W.N. Batten, T.-N.	OPANO 3N0	Étude de l'abondance du poisson de fond
N044	7 au 17 mai	L.M. Dickie, LEM	OPANO 4X	Levé acoustique et échantillonnage du benthos
N045	20 mai au 4 juin	P. Ouellet, Québec	OPANO 4S	Répartition des larves de crevettes
N046	10 au 14 juin	G. McClelland	OPANO 4VWX	Étude sur les parasites de la plie canadienne
N047	17 au 27 juin	J. Neilson	OPANO 4X et partie canadienne du banc Georges	Étude sur les jeunes harengs
N048/49	3 au 29 juillet	S.J. Smith/ P. Koeller	Plate-forme Scotian, baie de Fundy	Étude de l'abondance du poisson de fond
N050	29 juil. au 16 août	C. Fitzpatrick, T.-N.	OPANO 3L, 3K	Campagne océanographique annuelle
N051	7 au 18 sept.	T. Rowell	OPANO 4X jusqu'au Gulf Stream	Étude sur les larves et sur les jeunes calmars
N052	23 au 25 sept.	R.G. Halliday	OPANO 4X	Étude de l'ichthyofaune des grands fonds
N053	7 au 17 oct.	K. Zwanenburg	OPANO 4Vs	Étude de l'abondance du sébaste
N054	21 oct. au 1 nov.	S. Gavaris/ P. Fanning	Plate-forme Scotian	Expérience de pêche comparée avec le *Lady Hammond*
N055	8 au 30 nov.	R. Shotton, LEM	OPANO 4Vn	Levé acoustique sur le hareng

EXPÉDITIONS RÉALISÉES EN COLLABORATION

En 1985, la Division des poissons de mer a participé à une expédition réalisée en collaboration à bord du navire de recherche soviétique *Tava* (abréviation T)

ANNÉE ET N° DE L'EXPÉDITION	DATES	RESPONSABLES	ZONE COUVERTE	OBJECTIFS
T01	18 au 28 oct.	J. Neilson, DPM	OPANO 4VWX	Recherche canado-soviétique sur le jeune merlu argenté, avec relevé annuel de l'abondance.

Organisation

L'IOB est un institut de recherche du gouvernement du Canada placé sous la responsabilité du ministère des Pêches et des Océans (MPO), qui l'administre pour son propre compte et pour celui des autres ministères fédéraux qui y possèdent des laboratoires et des services. Les recherches, les installations et les services de l'Institut relèvent d'une série de comités généraux et spéciaux.

L'IOB abrite aussi les bureaux de l'Organisation des Pêches de l'Atlantique nord-ouest (secrétaire exécutif — Capitaine J.C.E. Cardoso); les laboratoires d'analyse chimique du Service de la protection de l'environnement, Région de l'Atlantique, du ministère de l'Environnement (chef : Dr H.S. Samant); enfin, le laboratoire de l'Administration du pétrole et du gaz des terres du Canada, qui relève du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources. Certains locaux sont loués à des sociétés privées oeuvrant dans le domaine des sciences de la mer : ASA Consulting Ltd., Brooke Ocean Technology, Seakem Oceanography, Seastar Instruments Ltd. et Seismac Ltd.

Voici les principaux groupes qui travaillent à l'Institut, ainsi que le nom de leur chef en juillet 1987. Les numéros de téléphone sont indiqués : à noter que l'indicatif régional de la Nouvelle-Écosse est 902 et l'indicatif local de l'Institut 426. L'astérisque renvoie aux bureaux du MPO à Halifax.

MINISTÈRE DES PÊCHES ET DES OCÉANS

Directeur régional des Sciences
S.B. MacPhee 3492

Division de l'évaluation et de la liaison, travaux maritimes
H.B. Nicholls, chef 3246

Direction des sciences biologiques
J.E. Stewart, directeur* 3130

Division des poissons de mer
W.D. Bowen, chef 8390

Division des invertébrés, des plantes et de l'écologie
M.M. Sinchair, chef* 6138

Division de l'océanographie biologique
T.C. Platt, chef 3793

Division de la mise en valeur, de la culture et de la pêche des espèces anadromes
N.E. MacEachern, chef* 3573

Pisciculture et physiologie appliquée
R.H. Cook, chef
(St. Andrews, N.-B.) .. (506)5239-8857

Direction des sciences physiques et chimiques
J.A. Elliott, directeur 7456

Division de l'océanographie chimique
J.M. Bewers, chef 2371

Division de l'océanographie côtière
C.S. Mason, chef 3857

Division de la métrologie
D.L. McKeown, chef 3489

Division de la circulation océanique
R.A. Clarke, chef 2502

Direction de l'hydrographie
Service hydrographique du Canada (Atlantique)
A.J. Kerr, directeur régional 3497
T.B. Smith, directeur adjoint 2432

Levés hydrographiques
T.B. Smith, chef 2432

Production des cartes
S.L. Weston, surintendant 7286

Développement hydrographique
R.G. Burke, chef 3657

Groupe de la navigation
R.M. Eaton, chef 2572

Planification et gestion des données
R.G. Lewis, responsable 2411

Marées
S.T. Grant, chef 3846

Direction des services de gestion
E.J. Maher, directeur par intérim* . 7433

Services maritimes
J.H. Parsons, chef 7292

Ingénierie et services techniques
D.F. Dinn, responsable 3700

Services de bibliothèque
J.E. Sutherland, chef 3675

Services administratifs
J. Broussard, chef 7037

Direction du contrôle financier
G.C. Bowdrige, contrôleur par intérim 6166

Comptabilité et trésorerie
S. Lucas, chef* 3552

Planification et analyse financières
L.Y. Seto, chef 7060

Planification opérationnelle et planification du travail
R.A. Huggins, chef 2271

MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE, DES MINES ET DES RESSOURCES

Centre géoscientifique de l'Atlantique (Commission géologique du Canada)
M.E. Keen, directeur 2367
D.I. Ross, directeur adjoint 3448

Géologie du pétrole, secteur de l'Est
M.E. Best, chef 2730

Géologie du milieu marin
D.J.W. Piper, chef 7730

Reconnaissance régionale
C.E. Keen, chef 3413

Soutien des programmes
K.S. Manchester, chef 3411

Administration
C. Racine, chef 2111

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT

Unité de recherche sur les oiseaux de mer (Service canadien de la faune)
E.H.J. Hiscock, Coordinateur administratif 3274

Travaux de recherche

VOICI la liste des domaines de recherche et des sujets (1, 2, 3, etc.) d'études entreprises par les grands laboratoires qui composent l'Institut océanographique de Bedford. Pour tout renseignement sur ces travaux et sur ceux des autres services de l'Institut, veuillez écrire au Directeur régional des sciences, Région Scotia-Fundy, ministère des Pêches et des Océans, a/s Institut océanographique de Bedford, C.P. 1006, Dartmouth (Nouvelle-Écosse), B2Y 4A2.

OCÉANOGRAPHIE DE LA COUCHE SUPERFICIELLE ET DE LA COUCHE MIXTE

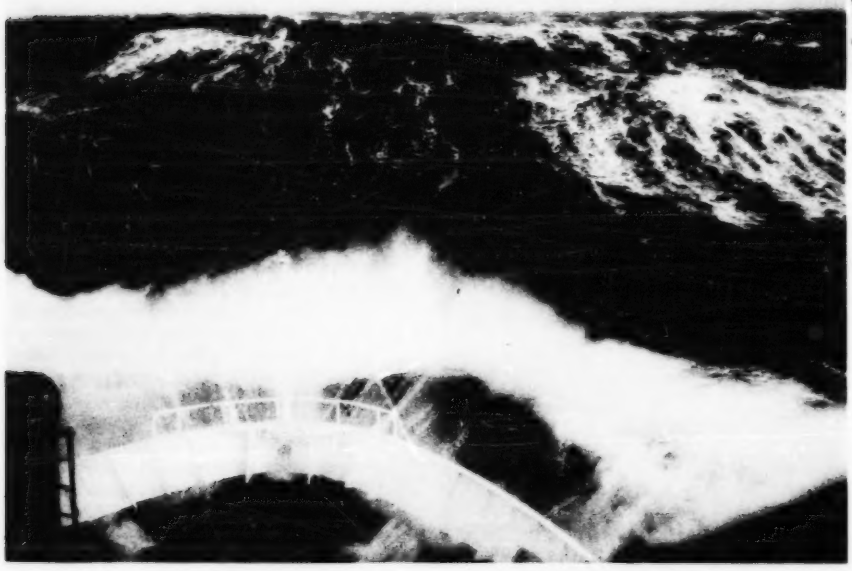
1. Échange d'humidité au-dessus de la mer (programme HEXOS) (*S.D. Smith, R.J. Anderson*)
2. Soulèvement de la houle en pleine mer (*F.W. Dobson*)
3. Étude sur le régime des vagues (*W. Perry, B. Toulany*)
4. Analyse du cheminement du pétrole (*D.J. Lawrence*)
5. Modélisation de la dérive des icebergs (*S.D. Smith*)
6. Étude sur les microstructures dans l'océan (*N.S. Oakey*)
7. Mesures du vecteur vitesse près de la surface (*N.S. Oakey*)
8. Études sur les flux air-mer de chaleur et de quantité de mouvement à grande échelle dans l'espace et dans le temps au moyen de formules globales nouvellement étalonnées (*F.W. Dobson, S.D. Smith*)
9. Les glaces de la côte du Labrador (*S. Prinsenberg, I. Peterson*)
10. Études sur la glace du golfe du St-Laurent (*G. Budgen*)
11. Expérience en zone de glace marginale (MIZEX) : tension du vent et flux thermique dans la marge de glace (*S.D. Smith, R.J. Anderson*)
13. Dynamique de la glace de mer (*W. Perrie, B. Toulany*)
14. Mesures des courants près de la surface de l'océan (*P.C. Smith, D.J. Lawrence, J.A. Elliott, D.L. McKeown*)
15. Mouvement spirale descendante et mélange des lentilles d'eau en Méditerranée (*N.S. Oakey, B.R. Ruddick*)
16. Modélisation des glaces et des icebergs en dérive le long des côtes du Labrador et de l'Île de Baffin (*M. Ikeda*)
17. Circulation à grande échelle dans la mer du Labrador et la baie de Baffin (*M. Ikeda*)
18. Études sur les glaces du Labrador — Travail sur le terrain (*I. Peterson*)
19. Étude de la marge de glace du Labrador (*C. Tang, M. Ikeda*)

OCÉANOGRAPHIE À GRANDE ÉCHELLE EN EAU PROFONDE

1. Formation de l'eau de la mer du Labrador (*R.A. Clarke, N.S. Oakey, J.-C. Gascard (France)*)
2. Modélisation de la mer du Labrador (*C. Quon, R.A. Clarke*)
3. Variabilité du courant du Labrador [*R.C. Clarke, V. Larichev* (U.R.S.S.)]
4. Détermination de l'âge de l'eau de fond dans la baie de Baffin (*E.P. Jones, J.N. Smith, K.M. Ellis*)
5. Mesures de la variabilité du Gulf Stream à l'aide d'instruments mouillés : Statistiques et cartographie (*R.M. Hendry*)
6. Expérience dans le bassin de Terre-Neuve (*R.A. Clarke, R.M. Mendry*)
7. Problèmes de dynamique des fluides en géophysique (*C. Quon*)
8. Expérience en mer de Norvège et du Groenland [*R.A. Clarke, J.A. Swift (Scripps), J. Reid (Scripps), N.S. Oakey, P. Jones, R. Weiss (Scripps)*]
9. Hydrographie de base : Atlantique Nord par 48°N (*R.M. Hendry*)
10. Études du courant de l'Atlantique Nord et des eaux du courant du Labrador qui s'écoulent vers le large (*J.R.N. Lazier, D. Wright*)
11. Études du stockage de la chaleur dans l'Atlantique Nord, par bathythermographes à sonde perdue, sur navire océanographique occasionnel (*F. Dobson*)
12. Thermodynamique de la structure et de la circulation océaniques (*E.B. Bennett*)

DYNAMIQUE DU PLATEAU CONTINENTAL ET DES CHENAUX

1. Circulation au sud-ouest de la Nouvelle-Écosse : Expérience au cap de Sable (*P.C. Smith, D. Lefaivre (MPO, Région du Québec), K. Tee, R. Trites*)
2. Expérience sur le rebord du plateau : Dynamique des basses fréquences et brassage sur le rebord du plateau Scotian (*R.C. Smith, B.D. Petrie*)
3. Déversement dans le détroit de Belle-Isle (*B.D. Petrie, C. Garrett (Université Dalhousie), B. Toulany*)
4. Dynamique de la plate-forme continentale — Expérience au chenal d'Avalon (*B.D. Petrie*)
5. Poussées de courant et brassage sur le plateau continental, dus à des ondes internes de forte amplitude (*H. Sandström, J.A. Elliott*)
6. Étude des ondes internes à l'aide du BATFISH (*A.S. Bennett*)
7. Étude théorique de la circulation et du brassage sur le banc George : Dynamique de rectification, par les marées, de la topographie sous-marine (*J.W. Loder, D. G. Wright*)
8. Modèles numériques de la circulation résiduelle et du brassage dans le golfe du Maine (*D.A. Greenberg, J.W. Loder, P.C. Smith, D.G. Wright*)
9. Études théoriques sur la circulation et le brassage sur le banc George (*J.W. Loder, D.G. Wright*)
10. Circulation et dispersion sur le banc Brown : l'océanographie physique dans le programme d'écologie des pêches (*P.C. Smith*)
11. Tempêtes et zone côtière : Composante océanographique du Programme d'étude des tempêtes dans l'Atlantique canadien (*P.C. Smith, W. Perrie, F.W. Dobson, D.A. Greenberg, D.J. Lawrence*)



Bruce Carson

Le nsc Hudson *dans l'Antarctique pendant la campagne HUDSON 70.*

12. Origine dynamique des mouvements à basse fréquence sur le plateau de Terre-Neuve et du Labrador (*D. Wright, J. Lazier, B. Petrie*)

PLATEAU CONTINENTAL ET CHENAUX : ÉTUDES SUR LES MASSES D'EAU ET LE TRANSPORT

1. Analyse des données d'océanographie physique recueillies dans le courant du Labrador (*J.R.N. Lazier*)
2. Expérience au Bonnet flamand (*C.K. Ross*)
3. Surveillance à long terme du courant du Labrador sur le banc Hamilton (*J.R.N. Lazier*)
4. Mesures à long terme de la température (*D. Dobson*)
5. Gestion et classement de données (*D.N. Gregory*)
6. Mise au point d'installations de télédétection au Laboratoire océanographique de l'Atlantique (*C.S. Mason, B. Topliss, L. Payzant*)
7. Océanographie du plateau continental de Terre-Neuve (*B.D. Petrie, D. Greenberg*)
8. Océanographie physique de l'Arctique oriental (*C.K. Ross*)
9. Mouvement des masses d'eau dans et par le Passage du Nord-Ouest (*S.J. Prinsenberg, E.B. Bennett*)
10. Bilans de chaleur et de salinité sur les Grands Bancs (*J.W. Loder, C.K. Ross*)
11. Échange vertical et horizontal sur les battures sud-est du Grand Banc (*J.W. Loder, C.K. Ross*)

OCÉANOGRAPHIE PHYSIQUE DES ESTUAIRES ET DES BAIES

1. Étude du fjord du Saguenay (*G.H. Seibert*)
2. Variabilité saisonnière et interannuelle dans le golfe du Saint-Laurent (*G.L. Bugden*)
3. Mesures de courant dans le chenal Laurentien (*G.L. Bugden*)
4. Le golfe du Saint-Laurent — Études de modélisation numérique (*K.T. Tee*)
5. Courants de marée et courants résiduels — Modélisation en trois dimensions (*K.T. Tee, D. Lefaivre*)
6. Énergie marémotrice de la baie de Fundy — Études d'océanographie physique (*D.A. Greenberg*)
7. Dynamique des particules (*K. Kranck*)
8. Bouées dérivantes de fond et de surface (*D. Gregory*)
9. Modélisation des sédiments en suspension [*D.A. Greenberg, C.L. Amos (CGA)*]
10. Processus hivernaux dans le golfe du Saint-Laurent (*G.L. Bugden*)
11. Modélisation des marées historiques (*D.A. Greenberg*)
12. Onde de tempêtes (*D. Greenberg, T.S. Murty (MPO, Région du Pacifique)*)
13. Circulation et flux air/mer dans la baie d'Hudson et la baie James (*S. Prinsenberg*)
14. Programme d'observation par mouillage dans le bassin Foxe : Courant de marée, circulation moyenne, formation et transport des masses d'eau (*S. Prinsenberg*)
15. Courant résiduel induit par la marée — Étude de l'interaction courant moyen — Courant de marée (*C. Tang, K.T. Tee*)

MISE AU POINT DES CAPTEURS

1. Anémomètres pour bouées dérivantes (*J.-G. Dessureault, D. Belliveau*)
2. Profileurs CTP et capteurs connexes (*A.S. Bennett*)
3. Chaînes de thermistors sur les bouées dérivantes (*G.A. Fowler, J.A. Elliott*)
4. Capteurs biologiques remorqués (*A.W Herman, M. Mitchell, S.W. Young, E.F. Phillips, D. Knox*)
5. Dynamique de production primaire et secondaire sur le plateau Scotian (*A.W. Herman, D. Sameoto, T. Platt*)
6. Capteurs biologiques à profilage vertical (*A.W. Herman, M.R. Mitchell, S.W. Young, E.F. Phillips, D.R. Harvey*)
7. Dynamique du broutage par le zooplancton et de la production phytoplanctonique (*A.W. Herman, A.R. Longhurst, D. Sameoto, T. Platt*)
8. Acquisition de données en temps réel (*A.S. Bennett*)
9. Mesures de durées constantes d'une sonde CTP (*A.S. Bennett*)
10. Capteurs biologiques amarrés (*A.W. Herman, M.R. Mitchell, S.W. Young, E.F. Phillips*)
11. Estimations par satellite de la productivité primaire (*B.J Topliss*)
12. Propriétés optiques des eaux canadiennes (*B.J. Topliss*)
13. Appareils de biologie arctique (*A. Herman, D. Knox*)
14. Treuil automatique pour échantillonneurs à plancton remorqués (*M. Mitchell, J.-G. Dessureault, A. Herman, S. Young, D. Harvey*)

PROGRÈS DES SYSTÈMES DE LEVÉ ET DE POSITIONNEMENT

1. Systèmes de positionnement acoustique par rapport au fond (*D.L. McKeown*)

Kelly Bentham

Mary Lewis se familiarise avec la combinaison de survie avant de mettre à la voile.

2. Systèmes de positionnement acoustique en fonction de la position du navire (*D.L. McKeown*)
3. Balayage acoustique à multifréquence de la colonne d'eau (*N.A. Cochrane*)
4. Profileur de courant Doppler (*N.A. Cochrane*)
5. Mise au point d'une bouée dérivante de surface (*D.L. McKeown, G. Fowler*)
6. Profileur acoustique de courant fixé sur le fond (*N. Cochrane, J. Whitman, D. Belliveau*)

UTILISATION D'INSTRUMENTS OCÉANOGRAPHIQUES

1. Mise au point de systèmes de mouillage (*G.A Fowler, A.J. Hartling, R. Reiniger, J. Hamilton*)
2. Manutention et utilisation de dispositifs instruments-câbles (*J.-G. Dessureault, R.F. Reiniger*)
3. Échantillonnage sur place des particules en suspension (*G.A. Fowler, B. Beaulands, W. Whiteway*)
4. Techniques permettant de récupérer ou de ravitailler en combustible le sous-marin DOLPHIN en mission (*J.-G. Dessureault, R. Vine*)

GÉOCHIMIE DES ZONES PRÉCÔTIÈRES ET ESTUARIENNES

1. Géochimie des métaux à l'état de traces dans les zones estuariennes et côtières (*P.A Yeats, D.H. Loring, J.A. Dalziel*)
2. Géochronologie et géochimie des sédiments dans le fjord du Saguenay (*J.N. Smith*)
3. Transport du carbone organique dans les grands cours d'eau du monde : Le fleuve Saint-Laurent, Canada (*R. Pocklington, F.C. Tan*)
4. Facteurs physico-chimiques agissant sur des particules de métaux lourds dans un estuaire à marée à forte turbidité (*D.H Loring*)
5. Puits de carbone organique dans les sédiments de la plate-forme continentale et du talus (*R. Pocklington, R. Martin, G. Gassmann*)
6. Fjords de l'Arctique et de la côte ouest (*J. Smith*)
7. Variabilité climatique inscrite dans les sédiments marins (*J. Smith*)
8. Géochimie des isotopes dans les principaux estuaires du monde (*F.C. Tan*)
9. Examen des données d'océanographie chimique dans le golfe du Saint-Laurent (*J.M. Bewers, D.H. Loring, R. Pocklington, J.N. Smith, P.M. Strain, F.C. Tan, P.A. Yeats*)
10. Études radioécologiques du plutonium dans un milieu marin arctique (*J.N. Smith, K.M. Ellis, A. Aarkrog*)
11. Géochimie des traces métalliques dans les zones de mélange estuarien (*P. Yeats, J.M. Bewers, J. Dalziel*)

GÉOCHIMIE DES EAUX PROFONDES

1. Carbonates et substances nutritives dans les régions arctiques (*E.P. Jones*)
2. Distribution de l'eau de fonte de la glace de mer dans l'Arctique (*F.C. Tan*)
3. Géochimie des traces métalliques dans l'Atlantique nord (*P.A. Yeats*)
4. Les constituants naturels de la matière organique marine (*R. Pocklington*)
5. Études paléoclmatiques de carottes de sédiments du lac Melville (*F.C. Tan, G. Vilks (CGA)*)

6. Comparaison de la distribution verticale des traces métalliques dans l'Atlantique nord et le Pacifique Nord (*P.A. Yeats*)
7. Mesures des radionucléides dans l'Arctique (*J.N. Smith*)
8. Études des isotopes du carbone organique particulaire et dissous, en eau profonde et dans les zones côtières (*F.C. Tan, P.M. Strain*)

TOXICOLOGIE, CHIMIE, ÉCOLOGIE, INTERVENTIONS D'URGENCE ET AUTRES ÉTUDES APPLIQUÉES

1. Hydrocarbures pétroliers (*E.M. Levy*)
2. Résidus de pétrole dans l'est de l'Arctique canadien (*E.M Levy*)
3. Programme de contrôle de l'environnement à Pointe-Lepreau (*J.N. Smith*)
4. Normes canadiennes d'analyse chimique dans le milieu marin (*J.M. Bewers, P. Yeats, D. Loring*)
5. Activités internationales (*J.M. Bewers, P.A. Yeats, D.H. Loring*)
6. Expériences CAISSON, collaboration Canada/RFA (*D.H. Loring, R. Rantala, F. Prosi*)
7. Situations d'urgence en mer (*E.M. Levy*)
8. Contamination par des métaux lourds dans un fjord du Groenland (*D. Loring*)
9. CIEM — interétalonnage pour l'analyse des traces métalliques dans les sédiments (*D. Loring*)
10. Accélération de la dégradation du pétrole dans le milieu marin (*E.M. Levy, K. Lee*)
11. Les éléments dans le milieu marin (*P.A. Yeats*)
12. Contamination par les métaux lourds de sédiments et de matières en suspension sur le plateau du Groenland (*D.H. Loring*)
13. Détermination de l'âge des poissons par des mesures au $210_{Pb}/226_{Ra}$ dans les otolithes (*J.N Smith*)
14. Taux de croissance du pétoncle géant (*Placopecten magellanicus*) mesuré avec les isotopes de l'oxygène (*F.C. Tan, D. Roddick*)

PROCESSUS DE LA PRODUCTION PRIMAIRE

1. Propriétées bio-optiques des eaux pélagiques (*T. Platt*)
2. Physiologie et biochimie de la photosynthèse, de la respiration et de la croissance du phytoplancton marin (*J.C Smith, T. Platt*)
3. Respiration, absorption des substances nutritives et régénération dans les populations planctoniques naturelles (*W.G. Harrison, J.C. Smith, T. Platt*)
4. Océanographie physique de certaines entités, dans le cadre d'études d'écologie marine (*E.P.W Horne*)
5. Physiologie des micro-organismes marins (*W.K.W. Li*)
6. Place du picoplancton dans l'écosystème marin (*D.V. Subba Rao*)
7. Océanographie biologique des Grands Bancs (*E.R.W Horne et al.*)

PROCESSUS DE LA PRODUCTION SECONDAIRE

1. Utilisation du carbone et de l'azote par le zooplancton et facteurs régissant la production secondaire (*R.J. Conover*)
2. Écologie du microzooplancton dans le bassin de Bedford, Nouvelle-Écosse (*M.A. Paranjape*)
3. Mise au point d'instruments profileurs (BIONESS et LHPR) pour l'étude du plancton et du microplancton (*D.D. Sameoto*)
4. Production secondaire et distribution dynamique du micronecton et du zooplancton sur le plateau Scotian (*D.D. Sameoto, A.W. Herman, N. Cochrane*)
5. Nature et signification de la variabilité verticale dans les profils de zooplancton (*A.R. Longhurst*)
6. Nutrition et biochimie du zooplancton marin (*E.J.H. Head*)
7. Programme BIOSTAT : zooplancton et micronecton (*D.D Sameoto*)
8. Études d'alimentation sur du zooplancton élevé dans un milieu stable à base d'algues (*E.J.H. Head, R.J. Conover*)

ÉCOLOGIE DU PLATEAU CONTINENTAL DE L'ATLANTIQUE

1. Ressources du plateau Scotian et programme d'étude de l'ichtyoplancton : collecte de données à grande échelle (espace et durée) (*R.J. Conover*)
2. Cycles saisonniers de l'abondance et de la distribution du microzooplancton sur le plateau Scotian (*M.A. Paranjape*)
3. Comparaison des méthodes de calcul de la production secondaire à partir de données sur la population zooplanctonique (*R.J. Conover*)
4. Études comparatives de la structure fonctionnelle des écosystèmes pélagiques (*A.R. Longhurst*)

ÉTUDES ÉCOLOGIQUES DANS L'ARCTIQUE ORIENTAL

1. Études à terre de la distribution du zooplancton sous la glace, de sa reproduction et de sa croissance, et de l'importance relative de la production primaire épontique et pélagique dans la propagation (*R.J. Conover*)
2. Études menées à bord, en été, dans l'est de l'Arctique canadien (*E.J.H. Head*)
3. Dynamique trophique du zooplancton et du micronecton dans l'Arctique oriental (*D.D. Sameoto*)
4. Distribution et abondance du microzooplancton dans l'Arctique (*M.A. Paranjape*)
5. Aspects écophysiologiques des processus microbiens en mer (*W.K.W. Li*)
6. Études sur le terrain et en laboratoire de la diapause chez les copépodes (*N.H.F. Watson*)

ÉCOLOGIE DE LA PRODUCTION HALIEUTIQUE

1. Analyse acoustique des populations de poissons et mise au point de méthodes de relevés (*L.M. Dickie et al.*)
2. Génétique et paramètres de production (*L.M. Dickie, A. Mallet, K. Freeman et al.*)
3. Métabolisme et croissance des poissons (*S.R. Kerr, K. Waiwood*)
4. Analyse mathématique des systèmes de production de poissons (*S.R. Kerr, W. Silvert, L.M. Dickie*)
5. Spectre de la structure par taille de production de poisson (*S.R. Kerr et al.*)
6. Taux de croissance du plancton en fonction de la taille et de la température (*R.W. Sheldon, A. Orr*)
7. Études bioénergétiques : Mammifères marins (*P.F. Brodie*)
8. Interaction des mammifères marins et de la pêche (*P.F. Brodie*)
9. Modélisation des écosystèmes de la baie de Fundy (*D. Gordon, P. Keiser, P. Swinghammer et al.*)

EFFET DE LA VARIABILITÉ ENVIRONNEMENTALE

1. Configuration des courants résiduels sur le plateau continental de l'Atlantique canadien, établie au moyen de bouteilles dérivantes et de dériveurs de fond (*R.W. Trites*)
2. Analyse des masses d'eau dans les zones de l'OPANO (*R.W. Trites, K.F. Drinkwater, L. Petrie*)
3. Études sur le transport et la diffusion des larves (*R.W. Trites, T. Rowell*)
4. Variabilité environnementale — Corrélations et échelles de réaction (*R.W. Trites, K. Drinkwater, L. Petrie*)
5. Variabilité climatique dans les zones de l'OPANO (*R.W. Trites, L. Petrie, K. Drinkwater*)
6. Les fjords de la terre de Baffin (*R.W. Trites*)

VARIABILITÉ DU RECRUTEMENT DANS LES PÊCHES

1. Modèle en régime stationnaire et caractéristiques transitoires de la circulation dans la baie St-Georges (*K.F. Drinkwater*)
2. Nutrition et croissance du microplancton, du macroplancton et de l'ichtyoplancton (*R.W. Sheldon, A. Orr*)
3. Déplacement vertical du plancton, des matières en suspension et des nutriments dissous dans la colonne d'eau des baies de la côte (*G.C.H. Harding et al.*)
4. Caractérisation des masses d'eau à l'aide des spectres des particules, comme moyen de prédire la survie des larves de poisson (*R.W. Sheldon*)
5. Couplage des systèmes de production pélagique et benthique (*P. Schinghamer, S.R. Kerr*)
6. Relations trophiques dans les communautés à varech du littoral (*K.H. Mann*)
7. Brassage et caractéristiques de la température et de la salinité de l'eau dans la partie sud-est des hauts-fonds des Îles de la Madeleine (*K.F. Drinkwater*)
8. Stratégies de reproduction des poissons (*T. Lambert*)
9. Recrutement des larves de homards le long du sud-est de la Nouvelle-Écosse, dans la baie de Fundy et le golfe du Maine (*G.C.H. Harding et al.*)
10. Mesures à petite échelle du taux de survie des larves (*K.T. Frank, J. McRuer*)
11. Stratégies de dispersion des larves de poissons marins (*K.T. Frank, J. McNuer, D. Reiner*)
12. Cohérence spatiale à grande échelle dans la reproduction constante de stocks distincts du capelan (*K.T. Frank et al.*)
13. Écologie des pêcheries du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse — Processus de production benthique (*P. Schwinghamer, D.L. Peer, J. Grant*)

EFFETS SUBLÉTAUX DE LA CONTAMINATION

1. Induction des oxydases à fonction mixte par les PCB et leurs substituts (*R.F. Addison*)

2. Les organochlorés chez les phoques (*R.F. Addison, P. Brodie*)
3. Devenir, métabolisme et effets des hydrocarbures dans le milieu marin (*J.H. Vandermeulen*)
4. Dynamique des organochlorés dans l'écosystème pélagique (*G.C.H. Harding, R.F. Addison*)
5. Évaluation des dangers des « nouveaux » polluants de l'environnement (*R.F. Addison*)
6. « Étalonnage » du système OFM utilisé chez la plie rouge comme indicateur (*R.F. Addison*)
7. Mise au point de méthodes d'étude du transport atmosphérique des organochlorés (*R.F. Addison*)

ÉCOLOGIE DES PROFONDEURS

1. Structure et fonction des communautés benthiques des grands fonds (*P. Schwinghamer*)
2. Mobilité des métaux à l'état de traces et des radionucléides dans les sédiments (*P.E. Kepkay, B.T. Hargrave*)
3. Rôle des amphipodes nécrophages dans le transfert des matériaux en eau profonde (*B.T. Hargrave*)
4. Flux verticaux sous la calotte glaciaire arctique (*D.C. Gordon, G.C.H. Harding, B.T. Hargrave*)
5. Métabolisme microbien aux interfaces (*P.E. Kepkay, P. Swinghamer*)

ÉCOLOGIE DES GRANDS BANCS

1. Océanographie biologique (*E.P.W Horne et al.*)
2. Écologie des Grands Bancs : Modélisation de l'écosystème (*W. Silvert, P. Keizer*)
3. Effets de déversement hors de la baie d'Hudson (*K. Drinkwater et al.*)

ÉVALUATION DES STOCKS ET TRAVAUX CONNEXES

1. Hareng (*T.D. Iles, R.L. Stephenson*)
2. Églefin (*P. Fanning, S. Gavaris, R. Mahon, R. O'Boyle, K. Waiwood, K. Zwanenburg*)
3. Morue (*S. Campana, J. Hunt, S. Gavaris, A. Sinclair, S. Smith*)
4. Goberge (*C. Annand, J. McGlade*)
5. Merlu argenté (*P. Fanning, D. Waldon*)
6. Sébaste (*K. Zwanenburg*)
7. Poissons plats (*J. Neilson*)
8. Évaluation et études sur la marge du plateau continental argentin (*R. Halliday*)
9. Espèces sous-utilisées (*C. Annand*)
10. Phoques (*D. Bowen, W. Stobo*)
11. Études sur la gestion des pêches (*R. Halliday, J. McGlade, R. O'Boyle, A. Sinclair, D. Waldron, G. White*)
12. Méthodologie d'évaluation des stocks (*G. White*)
13. Programme national d'échantillonnage (*J. Hunt, K. Zwanenburg*)
14. Programme international d'observateurs (*D. Waldron*)
15. Programme des études du poisson de fond (*S. Gavaris*)
16. Détermination de l'âge des poissons de fond (*J. Hunt*)
17. Soutien informatique et projets spéciaux (*R. Branton, B. Charlton, B. Freeman, J, Gale, J. McMillan*)

AUTRES TRAVAUX SUR LES POISSONS DE MER

1. Études de l'ichthyoplancton : Analyse des données du programme de l'ichthyoplancton du plateau Scotian et du programme d'écologie des pêches du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse (*P. Hurley*)
2. Étude des otolithes (*S. Campana*)
3. Consultation statistique et projets spéciaux : Évaluation des plans d'études du poisson de fond, analyse comparative de la pêche (*P. Fanning, S. Smith*)
4. Marquage des poissons de fond et du hareng (*W.T. Stobo*)
5. Répartition et structure des communautés de poissons de fond (*R. Mahon, J.S. Scott*)
6. Organisation sociale, déplacements et stratégies d'accouplement du phoque gris et du phoque du Groenland à l'île de Sable (*J. Godsell*)
7. Recherche et levés acoustiques (*U. Buerkle*)
8. Parasitologie des poissons du plateau Scotian (*J.S. Scott*)
9. Processus océanographiques modifiant la répartition et la survie des poissons (*J. Perry*)
10. Poissons juvéniles : écologie et études (*P. Koeller, J. Neilson, J. Perry, J.S. Scott, K. Waiwood*)
11. Analyse de la pêche du hareng à la senne dans 4X (*P. Mace, G. White*)
12. Technologie des campagnes d'étude du poisson de fond (*P.J.G. Carrothers*)
13. Écophysiologie de la morue et de l'églefin (*K. Waiwood*)

LEVÉS HYDROGRAPHIQUES

1. Côtes et ports
   Baie Passamaquoddy (N.-B.) (*J. Goodyear*)
   Baie St. Mary's (N.-B.) (*J. Goodyear*)
   Anse Seal, Grand Manan (N.-B.) (*J. Goodyear*)
   Chenal de Grand Manan (N.-B.) (*M.g. Swim*)
   Île de Baffin (côte N.-É.) (*M.G. Swim*)
   Île Cameron (T.N.-O.) (*M.G. Swim*)
2. Banc St- Pierre et chenal Laurentien (*G.W. Henderson*)
3. Levés dans l'est de l'Arctique — Chenal Wellington, chenal Austin, passage Resolute, Resolute Bay (T.N.-O.), passe de Goose Bay (Labrador) (*E.J. Comeau*)
4. Levés de révision : Port Mouton, Louisbourg, chenal St. Patrick (N.-É.), golfe du St-Laurent, côte nord de l'île du Prince-Édouard (*J. Ferguson*)
5. Balayage de la rivière Miramichi et du goulet Shippegan (N.-B.) (*G. Rockwell*)
6. Levé à contrat de la route du chenal Foxe (T.N.-O.) (*K. Malone*)
7. Levé à contrat de la baie Roche (T.N.-O.) (*K. Malone*)

MARÉE, COURANTS ET NIVEAUX DE L'EAU

1. Soutien permanent des services des Levés hydrographiques et de la Production de cartes du SHC (*S.T. Grant, C. O'Reilley, L. MacDonald, C.P. McGinn, G.B. Lutwick, F. Carmichael*)
2. Réseau permanent des marégraphes et des indicateurs de niveau d'eau (*S.T. Grant, C.P. McGinn, G.B. Lutwick, F. Carmichael, L. MacDonald*)
3. Révision et mise à jour des Tables des marées et des Instructions nautiques (*S.T. Grant, C. O'Reilley*)
4. Études à contrat (*S.T. Grant*)
   - Mise en place d'échelles de marée et de marégraphes dans la Miramichi (*Discovery Consultants Ltd.*)
   - Mesures de la propagation dans la baie de Baffin et les détroits de Lancaster et de Nares (*Dobrocky Seatech Ltd*)
   - Modèle numérique des marées dans le détroit d'Hudson et la baie d'Ungava (*Market Ltd.*)

PRODUCTION DES CARTES NAUTIQUES

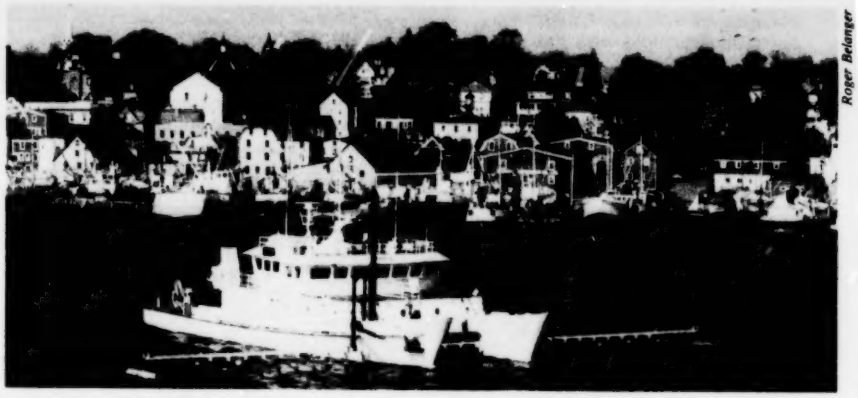
1. Production de
   — 5 nouvelles cartes
   — 4 nouvelles cartes (*contrat*)
   — 11 nouvelles éditions standard
   — 15 nouvelles éditions Loran-C (*contrat*)
   — 2 cartes spéciales (*T.B. Smith, S. Weston*)

NAVIGATION

1. Étalonnages du Loran C pour les cartes à grande échelle de l'Atlantique canadien (*R.M. Eaton*)
2. Mesure plus précise de l'erreur du Loran-C dans l'Atlantique canadien (*N. Stuifbergen*)
3. Mise au point et essai de la carte électronique (*R.M. Eaton*)
4. Amélioration et entretien du BIONAV (*H. Boudreau*)
5. Évaluations du NAVSTAR (*R.M. Eaton*)

DÉVELOPPEMENT HYDROGRAPHIQUE

1. Évaluation des enregistreurs de données et des systèmes de navigation (*S. Forbes,*



Roger Belanger

Le F.C.G. Smith *fait des levés dans la rade de Lunenburg.*

H. Varma, T. Berkeley)
2. Essais du DOLPHIN (*R.G. Burke, M. Lamplugh, H. Varma, T. Berkeley*)
3. Remplacement d'un ordinateur de bord (*S. Forbes, H. Varma*)
4. Amélioration des levés automatisés (*K. White, S. Forbes, H. Varma*)
5. Amélioration de la production de cartes assistée par ordinateurs (*S. Forbes, K. White, H. Varma*)
6. Acquisition et intégration du matériel de balayage monté à bord (*R.G. Burke, T. Berkeley*)

INSTRUCTIONS NAUTIQUES

1. Publication des instructions nautiques, Nouvelle-Écosse (côte SE) et baie de Fundy, 10e édition (*R. Pietrzak*)
2. Révision des Instructions nautiques, Terre-Neuve (*R. Pietrzak*)

R & D EN HYDROGRAPHIE

1. ARCS — Mise au point d'un sous-marin autonome télécommandé pour les travaux sous la glace de l'océan Arctique *(contrat passé avec International Submarine Engineering Ltd.)*

PROGRAMME DE GÉOLOGIE CÔTIÈRE

1. Conseils relatifs aux problèmes d'environnement physique dans la zone côtière (*R.B. Taylor*)
2. Morphologie, sédimentologie et dynamique de la côte de Terre-Neuve (*D.L. Forbes*)
3. Environnements et processus côtiers dans les îles de l'Arctique canadien (*R.B. Taylor*)
4. Dynamique et processus de dépôt des sédiments dans la zone côtière (*D.L. Forbes*)
5. Côte de la mer de Beaufort (*P.R. Hill*)
6. Processus du pergélisol sur les plages de l'Arctique (*R.B. Taylor*)

GÉOLOGIE DES INLETS CÔTIERS

1. Comportement physique des particules en suspension dans les milieux aqueux naturels (*J.P.M. Syvitski*)
2. Sédimentologie des fjords (*J.P.M. Syvitski*)
3. Dynamique des sédiments au fond de la baie de Fundy (*C.L. Amos*)
4. Données paléoclimatiques et paléo-écologiques récentes inscrites dans les sédiments des fjords (*C.T. Schaefer*)
5. Transfert des sédiments de la masse terrestre au plateau continental (SEDFLUX) (*J.P.M. Syvitski*)

GÉOLOGIE DE LA MARGE DU SUD-EST CANADIEN

1. Géologie de la roche en place et des dépôts meubles, Grands Bancs et plateau Scotian (*G.B. Fader*)
2. Affouillement par les glaces des plates-formes continentales (*C.F.M. Lewis*)
3. Stabilité et transport des sédiments sur les plates-formes continentales (*C.L. Amos*)
4. Processus géologiques du Quaternaire sur les talus continentaux (*D.J.W. Piper*)
5. Modèles du faciès des turbidités modernes (*D.J.W. Piper*)
6. Géologie technique du plateau de l'Arctique (*R. Parrott*)
7. Étude géotechnique des plateaux et des talus continentaux de l'est et de l'Arctique canadiens (*K. Moran*)
8. Série de cartes « Dossier ouvert » (*G.B. Fader*)
9. Sédiments littoraux et minéraux non combustibles (*G.B. Fader*)

GÉOLOGIE DE L'EST DE L'ARCTIQUE ET DU SUBARCTIQUE

1. Programme de cartographie géologique de la roche en place et des dépôts meubles dans l'est de l'île de Baffin (*B.C. MacLean*)
2. Géologie des dépôts meubles, géomorphologie et glaciologie de la mer du Labrador (*H.W. Josenhans*)
3. Méthodes d'étude du Quaternaire en paléontologie marine (*G. Vilks*)
4. Géologie de la zone proche de la surface dans les chenaux des îles de l'Arctique (*B.C. MacLean*)
5. Paléo-écologie quantitative du Quaternaire dans l'est du Canada (*P.J. Mudie*)
6. Variation spatio-temporelle des courants des grands fonds dans l'ouest de la mer du Labrador (*C.T. Schafer*)
7. Échantillonnage des îles de glace et étude des sédiments *(P.J. Mudie)*

GÉOLOGIE DE L'OUEST DE L'ARCTIQUE

1. Géologie superficielle et géomorphologique de la mer de Beaufort (*S.M. Blasco*)
2. Étude concernant le conflit frontalier dans la mer de Beaufort (*P.R. Hill*)

GÉOCHIMIE

1. Géologie environnementale de l'océan profond (*D.E. Buckley*)
2. Diagénèse et cycle géochimique (*R. Cranston*)

LEVÉS GÉOPHYSIQUES RÉGIONAUX

1. Champs potentiels de la côte est (*R.F. Macnab*)
2. Évaluation du gravimètre KSS-30 (*B.D. Loncarevic*)
3. Atlas géologique des marges continentales de l'est du Canada (*S.P. Srivastava*)
4. Exploitation d'une base de données sur les champs potentiels (*K.G. Shih*)
5. Applications de l'altimétrie satellitaire à la gravimétrie sur les marges (*J.M. Woodside*)
6. Études sismiques des marges de l'est canadien (*I. Reid*)
7. Levés du site du Programme de forage en mer : Mer du Labrador (*S.P. Srivastava*)
8. Géophysique régionale des terrains du Mésozoïque et du Cénozoïque sur les marges de Terre-Neuve (*A. Edwards*)

ÉTUDE DES STRUCTURES GÉOLOGIQUES PROFONDES

1. Études comparatives des marges continentales de la mer du Labrador et de l'Atlantique nord (*S.P. Srivastava*)
2. Études sismiques des marges continentales de l'est canadien et des zones adjacentes (*I. Reid*)
3. Développement des systèmes sismiques (*B. Nichols*)
4. Réfraction sismique et mesures géophysiques connexes dans l'océan Arctique (*H.R. Jackson*)
5. Réfraction sismique le long de la marge polaire canadienne (*H.R. Jackson*)
6. Golfe du Saint-Laurent — Gravimétrie (*B.D. Loncarevic*)
7. Histoire géologique et tectonique régionale dans les Appalaches canadiennes (*G. Stockmal*)
8. Travaux de réflection sismique dans les fonds marins, au large de l'est du Canada (*C.E. Keen*)
9. Campagne 105 du programme de forage, dans la mer du Labrador et la baie de Baffin (*S.P. Srivastava*)

MODÉLISATION GÉOPHYSIQUE THÉORIQUE

1. Processus d'accrétion et développement des marges continentales passives (*C.E. Keen*)

ANALYSE DES BASSINS ET GÉOLOGIE DU PÉTROLE

1. Géologie superficielle régionale des roches mésozoïques et cénosozoïques de la marge continentale de l'Atlantique (*J.A. Wade*)
2. Interprétation géologique des données géophysiques en vue d'une synthèse du bassin et de l'inventaire des hydrocarbures (*A.C. Grant*)
3. Compilation des données géoscientifiques recueillies dans les bassins du Paléozoïque supérieur du sud-est du Canada (*R.D. Howie*)
4. Stratigraphie et sédimentologie des roches mésozoïques et tertiaires de la marge continentale de l'Atlantique (*L.F. Jansa*)
5. Reconnaissance sur le terrain d'affleurements de séries mésozoïques dans la péninsule ibérique (*L.F. Jansa*)
6. Évolution des bassins sédimentaires de la marge continentale de Terre-Neuve, du Labrador et de la baie de Baffin (*K.D. McAlpine*)
7. Sédimentologie des formations de la côte est (*D.J. Cant*)
8. Contraintes lithosphériques au Canada (particulièrement dans les bassins sédimentaires) (*J.S. Bell*)
9. Évolution lithologique des bassins océaniques de l'est du Canada (*A. Fricker*)
10. Atlas des bassins du plateau du Labrador (*J.S. Bell*)

ÉVALUATION DES RESSOURCES D'HYDROCARBURES

1. Inventaire des hydrocarbures des bassins sédimentaires de l'est canadien (*M.E. Best*)
2. Études de rang et études pétrographiques du charbon et de la matière organique dispersés dans les sédiments (*P.A. Hacquebard*)
3. Études de maturation (*K.D. McAlpine*)
4. Interprétation des données géophysiques recueillies sur la marge du plateau Scotian et dans les régions adjacentes en vue d'une synthèse de bassin et de l'estimation du potentiel d'hydrocarbures (*B.C. MacLean*)

BIOSTRATIGRAPHIE

1. Identification et interprétation biostratigraphiques des fossiles (*M.S. Barss*)
2. Zonation palynologique des roches carbonifères et permiennes des provinces de l'Atlantique, du golfe du Saint-Laurent et du Nord canadien (*M.S. Barss*)
3. Biostratigraphie du plateau continental de l'Atlantique canadien et des régions adjacentes (*R.A. Fensome*)
4. Taxinomie et écologie des palynomorphes (*R.A. Fensome*)
5. DSDP — dinoflagellés du Crétacé supérieur et du Cénozoïque (*G.L. Williams*)
6. Zonation biostratigraphique (foraminifères, ostracodes) des roches mésozoïques et cénozoïques de la plate-forme Atlantique (*P. Ascoli*)
7. Méthodes de biostratigraphie quaternaire des sédiments marins (*G. Vilks*)
8. Stratigraphie quantitative en paléo-océanographie et dans l'analyse des bassins pétroliers (*F.M. Gradstein*)

BASES DE DONNÉES GÉOLOGIQUES

1. Représentation de la Commission géologique du Canada auprès du Comité directeur du projet Kremp de recherches informatisées en palynologie (*M.S. Barss*)
2. Banque d'information sur les puits de la côte est (*G.L. Williams*)
3. Inventaire des données (*I.A. Hardy*)
4. Mise au point d'un système d'informations sur la zone côtière (*D. Forbes*)

DÉVELOPPEMENT DES TECHNIQUES GÉOLOGIQUES

1. Surveillance de la dynamique des sédiments : RALPH (*D.E. Heffler*)
2. Mise au point d'un vibrocarottier-foreuse pour les études géotechniques, géologiques et techniques (*K.S. Manchester*)
3. Mise au point et essai de méthodes pour la manutention et l'entretien des câbles (*K.S. Manchester*)
4. Seabed II (*K.S. Manchester*)
5. Données sismiques numériques à canal unique (*W. Kay*)
6. CIGAL — Acquisition et archivage de données géophysiques par ordinateur (*B.D. Loncarevic*)
7. Installation pour longs carottages (*K.S. Manchester, W. MacKinnon*)

PROJETS SPÉCIAUX EN GÉOLOGIE

1. Planification du Programme de forage océanique (*M.J. Keen*)
2. Conflits frontaliers : St-Pierre et Miquelon (*D.I. Ross*)
3. Géologie de la roche en place et des dépôts meubles dans la baie d'Hudson (*W.H. Josenhans, A.C. Grant*)

Extraits du Journal de bord de l'IOB : 1962-1987

CE « journal de bord » présente les faits saillants de chacune des 25 années d'existence que compte l'Institut, d'octobre 1962 à octobre 1987. Le choix a été fait par H.B. Nicholls.

1962

• L'Institut océanographique de Bedford est inauguré le 25 octobre 1962 par l'honorable Paul Martineau, ministre des Mines et des Relevés techniques, et Dr J.L. Kask, président de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada; plus de 300 personnes étaient invitées, parmi lesquelles l'honorable R.L. Stanfield, premier ministre de Nouvelle-Écosse. Quelques mois plus tôt, Dr W.N. English avait été nommé premier directeur de l'Institut.

• Les navires de levés et de recherches hydrographiques *Baffin*, *Kapuskasing*, *Acadia* et *Maxwell*, appartenant à l'Institut, assistés des navires affrétés *Arctic Sealer* et *North Star VI*, ont compté 660 jours en mer et ont parcouru 68 000 milles, principalement pour effectuer des levés hydrographiques dans l'Atlantique et l'Arctique.

• Deux programmes de recherches océanographiques sont en cours : étude de la circulation profonde dans des régions allant de la Nouvelle-Écosse aux Açores; travaux dans le golfe du St-Laurent sur l'échange d'énergie à la limite air-mer et sur le bilan thermique.

1963

• Le secrétariat de la Commission internationale des pêcheries de l'Atlantique Nord-Ouest s'installe à l'Institut (l'organisme qui lui a succédé, l'OPANO, s'y trouve toujours).

• Le navire de recherche *Atlantis II*, appartenant à la Woods Hole Oceanographic Institution, est l'un des premiers navires de recherche étrangers à visiter l'Institut.

• Le Comité scientifique pour les recherches océaniques (SCOR) se réunit à l'Institut le 10 avril.

1964

• Le nsc *Hudson* est officiellement lancé le 14 février à l'Institut par l'honorable W.M. Benidickson, ministre des Mines et des Relevés techniques.

• Le nsc *Baffin* est utilisé pour la première d'une longue série d'expéditions pluridisciplinaires au large, rassemblant des hydrographes et des géophysiciens.

• Un enregistreur de données géophysiques (GEODAL) est mis au point. Le dispositif, utilisé au cours de trois expéditions, a produit environ 600 000 mesures gravimétriques et magnétiques.

• Réalisation d'une étude quantitative sur les caractéristiques de la température et de la salinité dans le golfe du St-Laurent en été et en hiver.

1965

• Le nsc *Hudson* entreprend des levés géophysiques sur la dorsale médio-atlantique.

• Dr W.L. Ford devient directeur de l'Institut.

• L'ancien groupe océanographique de l'Atlantique s'élargit pour devenir un laboratoire indépendant de recherche au sein de l'Institut. Ses travaux portent sur les processus physiques et biologiques qui sous-tendent la production marine (ce laboratoire, qui relevait de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada, a été par la suite rebaptisé Laboratoire d'écologie marine).

1966

• Création des groupes de l'océanographie appliquée et de la circulation océanique.

• Le groupe des Services techniques se sépare en deux pour former la division de la Métrologie (chargé de la recherche, de la conception et du développement dans le domaine des instruments océanographiques spécialisés directement liés au programme) et les Services d'ingénierie (chargés des fonctions générales de soutien technique).

De gauche à droite : W.M. Cameron, l'honorable Paul Benidickson et le sous-ministre Van Steenburgh à bord du NSC Hudson *le jour de son lancement.*

Dr W. Ford relevant un BT sur le NSC Hudson.

• Réalisation d'un atlas et d'un rapport présentant une nouvelle conception du transport des grandes masses d'eau dans la région située entre les bancs de Terre-Neuve et les Açores.

• Le Service hydrographique du Canada à l'Institut entreprend le premier travail cartographique moderne et détaillé des Bancs de Terre-Neuve.

1967

• Une plate-forme stable destinée à l'étude des interactions air-mer est installée à quelque deux milles en mer près des approches du port de Halifax.

• Des membres du Conseil des sciences du Canada, notamment son président, Dr O.M. Solandt, visitent l'Institut.

• Le groupe de recherche sur la mer englacée, dont la responsabilité a été confiée en 1970 à l'Institut des sciences de la mer de Sidney (C.-B.), poursuit ses travaux sur la physique de la formation et de la dégradation de la banquise polaire et des processus connexes qui se produisent dans l'eau de mer.

• Mise au point d'un échosondeur à profondeur variable, et essais à bord du nsc *Hudson*.

1968

• Préparation des programmes scientifiques en vue d'une expédition océanographique autour de l'Amérique du Nord et du Sud à l'aide du nsc *Hudson* (HUDSON 70).

• Le 1er février est créé le Laboratoire océanographique de l'Atlantique (LOA), qui constitue un élément à part au sein de l'Institut. Il centralise toutes les fonctions de la direction des sciences marines à l'Institut.

• Le nsc *Dawson* est livré à l'Institut par son constructeur (chantier naval G.T. Davie, Lauzon, Québec).

• Une foreuse sous-marine télécommandée, capable de forer dans la roche à une profondeur de 1 200 pieds, a été mise au point; elle peut maintenant être utilisée par les géologues.

1969

• Un système automatisé qui a été mis au point permet de mesurer et d'enregistrer en continu la concentration de chlorophylle II dans toute la colonne d'eau.

• Le 19 novembre, le nsc *Hudson* quitte l'Institut et fait route vers l'île de Géorgie du Sud, avec escale à Rio de Janeiro, ce qui constitue la première campagne de l'expédition HUDSON 70.

• Le nsc *Acadia* entreprend sa dernière expédition, puis vient s'amarrer au quai de l'Institut pour quelques années, avant d'être amené à son mouillage actuel, au Maritime Museum of the Atlantic, à Halifax (Nouvelle-Écosse).

1970

• Le 4 février, le pétrolier libérien *Arrow* s'échoue dans la baie Chedabucto (Nouvelle-Écosse), se vidant de sa cargaison de fuel résiduel Bunker C. De nombreux membres de l'Institut participent à l'intervention.

• Le 16 octobre, le nsc *Hudson* rentre à l'Institut après l'expédition HUDSON 70, devenant ainsi le premier navire qui ait jamais fait le tour complet des Amériques.

• La mise au point du BATFISH, véhicule sous-marin remorqué, atteint le stade où une firme locale reçoit un permis pour fabriquer cet instrument de recherche océanographique.

1971

• Un prototype de vedette télécommandée, mis au point à l'Institut, est testé pendant des expéditions à Antigua et sur la dorsale médio-atlantique.

• Au cours de l'année et en 1970, l'Institut a envoyé le nsc *Dawson* dans le Gulf Stream, par 50W, pour mettre au point des méthodes de mouillage des batteries de courantomètres, pouvant mesurer jusqu'à 2 000 mètres de longueur, dans les forts courants de la région.

• Une grande croisière de reconnaissance géophysique est entreprise dans la baie Baffin et le détroit de Davis, afin d'étudier les variations de la structure de la croûte en travers des masses d'eau, de cartographier la limite croûte océanique — croûte continentale, et d'étudier les principales caractéristiques des plateaux continentaux environnants.

1972

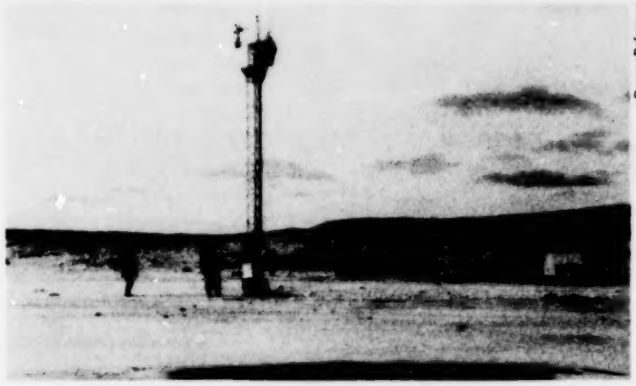
• Création du Centre géoscientifique de l'Atlantique (CGA), de la Commission géologique du Canada, à l'Institut. Le centre combine les anciennes sections de géologie marine et de géophysique marine du Laboratoire océanographique de l'Atlantique, ainsi que le personnel de la Commission qui travaillait déjà à l'Institut sur l'analyse des

Heinz Wiele

Le BATFISH prêt pour la mise à l'eau en mer du Labrador.

Roger Belanger

Le NSC Baffin *arrive à Georgetown, Guyana.*



Roger Belanger

Tour équipée d'instruments, érigée au bord de l'eau, sur l'île de Sable, dans le cadre de l'étude sur l'interaction air-mer.

échantillons obligatoires obtenus lors des forages au large, c'est-à-dire la section de la géologie du pétrole — secteur de l'Est, division de la géologie crustale; Dr B.D. Loncarevic devient le premier directeur du CGA.

• L'Institut participe à une expérience internationale à trois navires (nsc *Hudson*, *Chain* de la Woods Hole Oceanographic Institution et *Cirolana*, de Lowestoft, R.-U.) destinée à étudier le Gulf Stream près de la Queue du Grand Banc.

1973

• Lancement des travaux sur l'étude des larves de poissons dans la baie St. Georges (Nouvelle-Écosse).

• Les membres de l'Institut participent à l'examen de la barge *Irving Whale* (contenant 4 500 tonnes de pétrole brut Bunker C) qui a coulé par 60 mètres de fond entre l'île du Prince-Édouard et les îles de la Madeleine.

• Le nsc *Hudson* participe à l'expédition "Overflow '73" (écoulement du détroit du Danemark) en compagnie de 12 autres navires représentant 6 pays.

• Une grande étude pluridisciplinaire, menée dans le détroit de Canso et la baie Chedabucto (Nouvelle-Écosse) porte sur les effets du développement industriel et d'autres activités sur le milieu marin.

1974

• Entre juin et septembre, le personnel de l'Institut participe à l'expérience du GARP dans l'Atlantique tropical (GATE).

• Le nsc *Baffin* entreprend une campagne hydrographique de production et de formation au large de la Guyana, en Amérique du Sud.

• Un système acoustique informatisé de comptage du poisson est mis au point; il combine le traitement automatique des échos avec l'analyse des données pour fournir des estimations du nombre et de la taille de différents poissons. C'était le précurseur du système ECOLOG, qui a eu beaucoup de succès.

1975

• L'Institut collabore avec la Woods Hole Oceanographic Institution à l'expérience Polymode, menée par les États-Unis et l'URSS, en mouillant des instruments océanographiques profonds dans le Gulf Stream.

• Un dispositif de sismique réflexion remorqué en profondeur, mis au point conjointement avec Huntec (70) Ltd, est utilisé au cours de quatre campagnes du nsc *Hudson*.

• Construction d'un véhicule télécommandé se déplaçant sur le fond, appelé SEA ROVER, qui porte un transducteur acoustique pour mesurer la quantité de pétrole Bunker C présente dans les cales de l'*Irving Whale*, qui a sombré dans le golfe du St-Laurent.

• Le submersible *Pisces IV* est emprunté à l'Institut des sciences de la mer de Patricia Bay, Sidney, en Colombie- Britannique, pour des études menées dans la baie St. Margarets.

1976

• Des travaux menés par l'Institut à l'île de Sable ont permis pour la première fois de mesurer directement le flux gazeux entre la mer et l'air. Sur le plateau Scotian, début d'une étude sur la dynamique du rebord du plateau continental.

• La première équipe de la Division des poissons de mer (qui faisait partie de l'ancienne Direction des ressources, région des Maritimes, Gestion des pêches) est relocalisée à l'Institut. Ce groupe a pour rôle principal d'évaluer les stocks de poissons et de phoques gris et communs dans la région de l'Atlantique.

• Dans le cadre de la campagne de 1976 du *Hudson* dans l'Arctique, les membres du CGA achèvent la cartographie géologique et géophysique du plateau de l'île Baffin au sud du cap Dyer.

1977

• Les scientifiques se trouvant à bord du nsc *Hudson* examinent une nappe d'huile à Scott Inlet, sur l'île Baffin; les travaux subséquents montrent que la nappe est le résultat d'un suintement naturel.

• Au cours de l'année, le nsc *Baffin* opère au large du Pérou dans le cadre d'un projet sur les pêches péruviennes parrainé par l'ACDI.

• Mise au point de la deuxième génération de l'échantillonneur BIONESS à plusieurs filets pour le zooplancton et le micronecton.

1978

• En mars, les scientifiques de l'Institut visitent le site de la marée noire de *l'Amoco Cadiz*, en Bretagne (France).

Roger Belanger

Mike Lewis monte une tente « Parcoll » dans l'Arctique canadien pendant l'expédition LOREX.

• Dr W.L. Ford, directeur général, Sciences océaniques et aquatiques, Région de l'Atlantique, prend sa retraite; c'est Dr C.R. Mann qui lui succède.

• Mise au point du système intégré de navigation de l'Institut, le BIONAV.

1979

• Les scientifiques de l'Institut font partie de l'équipe d'intervention constituée à la suite du naufrage du *Kurdistan*, le pétrolier britannique qui, en mars, s'est ouvert dans le détroit de Cabot, libérant 7 000 tonnes de pétrole Bunker C.

• Lancement d'un grand programme de recherche sur l'écologie fondamentale de la baie de Fundy.

• Les scientifiques de l'Institut participent aux expéditions internationales LOREX et FRAM (Arctique), et la première grande campagne biologique de l'Institut dans l'Arctique canadien est entreprise à l'aide du *Hudson*.

• Dr C.R. Mann est remplacé à la tête de l'Institut par le nouveau directeur, Dr A.R. Longhurst.

1980

• Le nsc *Dawson*, accompagné du navire britannique *Discovery*, opère au sud des Bermudes dans le cadre de l'étude de la lithosphère profonde des Petites Antilles (LADLE).

• Le prix Huntsman, créé à l'Institut pour souligner des travaux remarquables dans le domaine des sciences de la mer, est décerné pour la première fois. Les lauréats sont : Dan MacKenzie, du Royaume Uni (géophysique); Ramon Margalef, d'Espagne (écologie marine); enfin, Henry Stommel, des États-Unis (océanographie physique).

• L'Institut crée son service de conseil et de liaison avec l'industrie dans le domaine de la mer (BIOMAIL); il reçoit son premier locataire industriel, Huntec '70 Ltd., qui travaillait depuis plusieurs années en collaboration avec le Centre géoscientifique de l'Atlantique (d'autres locataires suivront rapidement).

1981

• Le nsc *Hudson* retourne à l'Institut après neuf mois d'absence et un tour de l'Amérique du Nord, campagne pendant laquelle il a réalisé un levé hydrographique en vue de l'établissement d'un couloir de navigation en mer de Beaufort.

Roger Brisnger

Dr W. Ying (à gauche) et Dr D. Bradford discutent du rythme de recul de la ligne de rivage pendant le Symposium sur la dynamique des eaux côtières.

Le DOLPHIN et son navire-mère, le NSC Baffin, *pendant des essais sur les côtes de Nouvelle-Écosse.*

• Les océanographes de l'Institut participent à l'expérience internationale sur les anneaux à noyau chaud.

• L'Institut accueille un symposium sur la dynamique des eaux côtières à forte turbidité. Y participent plus de 150 personnes appartenant à de nombreux pays différents.

1982

• En février, le nsc *Hudson* quitte l'Institut pour la première étape d'une expédition destinée à étudier au milieu de l'hiver la région située entre l'Islande et le Spitzberg, dans la mer de Norvège et du Groenland.

• Publication des premières cartes hydrographiques produites à l'Institut depuis la décentralisation de la cartographie, qui se faisait auparavant à Ottawa. Les cartes couvrent les lacs Bras-d'Or et le fleuve St-Jean.

• Un nouveau chalutier de recherche basé à l'Institut, l'*Alfred Needler*, arrive en septembre pour commencer des travaux sur les problèmes des pêches de l'Atlantique.

• La première utilisation non militaire du système de positionnement global NAVSTAR est faite par l'Institut au cours des campagnes du nsc *Hudson*.

1983

• Des scientifiques de l'Institut participent à l'expédition CESAR (étude de la dorsale Alpha) dans l'océan Arctique.

• Le nsc *Hudson* réalise un levé au sonar à balayage latéral de l'épicentre du tremblement de terre qui a eu lieu en 1929 sur le Grand Banc, sur le plateau continental du sud de Terre-Neuve.

• Le véhicule semi-submersible DOLPHIN (profileur enregistreur pour les eaux profondes équipé d'instruments pour l'hydrographie et la navigation), mis au point à contrat pour l'Institut, est soumis aux essais de recette.

• En septembre, des scientifiques de l'Institut participent à la campagne MIZEX 83, étude internationale interdisciplinaire de la zone de glace marginale du détroit de Fram, entre le Groenland et le Svalbaard.

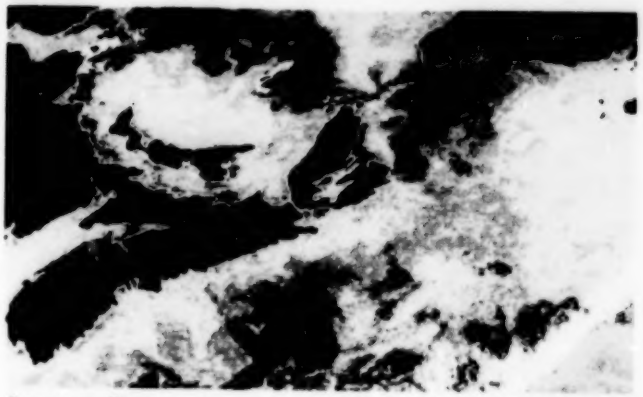


Image satellitaire, prise par un satellite de la NOAA, montrant les températures de la mer en été sur le plateau de Nouvelle-Écosse et dans le golfe du Saint-Laurent.

• Début des travaux d'un programme d'écologie des pêches sur le banc Browns, réalisé en collaboration par plusieurs groupes de l'Institut et l'Université Dalhousie.

• Publication d'un grand rapport sur la phase préopérationnelle du programme de surveillance mis au point à l'Institut pour la centrale nucléaire de Pointe Lepreau.

Heinz Weie

1984

• Des membres de l'Institut participent aux audiences de la Cour internationale de La Haie sur le conflit frontalier du golfe du Maine; auparavant, des membres avaient préparé une série de documents techniques et avaient donné des conseils sur la question au ministère des Affaires extérieures.

• Lancement d'un nouveau projet concernant la modélisation des effets possibles des marées noires sur l'écosystème des Grands Bancs.

• Poursuite des recherches géologiques et géochimiques par l'évaluation de la faisabilité de l'élimination sur le fond marin des déchets fortement radioactifs.

• Installation à l'Institut d'un système d'analyse d'images pour la télédétection et d'autres applications.

1985

• Le Laboratoire océanographique de l'Atlantique compte parmi les principaux participants à l'expérience pilote sur l'échange d'humidité au-dessus de la mer (HEXOS) réalisée en mer du Nord au large des côtes des Pays-Bas.

• En mars, le nsc ***Baffin*** opère sur le front des champs de glace des côtes du Labrador, avec des scientifiques de l'Institut, de la Smithsonian Institution (É.-U.) et du Centre des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest. Les chercheurs recueillent des données sur une vaste gamme de sujets, allant des phoques à la physiologie du phytoplancton.

• Pour la première fois, les scientifiques de l'Institut ont directement accès à un « super-ordinateur » Cray localisé dans les bureaux du SEA, MDE, à Dorval (Québec).

1986

• Le nouveau navire de balayage acoustique de 35 mètres *F.C.G. Smith*, construit pour l'Institut par le chantier naval Georgetown Shipyard (Île-du-Prince-Édouard), est reçu par le MPO.

• Mise sur pied d'un programme conjoint de recherche entre les scientifiques de l'Institut et la société ELF/Aquitaine de Paris (France), qui a pour objet l'étude des effets sublétaux de l'exposition au pétrole chez le saumon atlantique juvénile.

• Réalisation par le LOA d'une grande étude expérimentale sur les caractéristiques physiques et chimiques de l'océan à l'est des Bancs de Terre-Neuve, à l'aide du nsc *Hudson*.

Dr Tom Fenchel, professeur d'écologie et de zoologie à l'Université d'Aarhus (Danemark) reçoit la médaille d'argent A.G. Huntsman 1986, qui récompense des travaux remarquables dans les sciences de la mer. Ses études antérieures ont conduit aux premières descriptions des réseaux trophiques extrêmement spécialisés qui se trouvent dans l'espace interstitiel de tous les sédiments, et ses méthodes, appliquées tout d'abord à la communauté microbenthique, se sont depuis élargies à des études plus récentes sur les communautés pélagiques. Ses résultats et ses conclusions ont nettement enrichi notre compréhension de la structure et de la fonction des communautés microbiennes marines dans les sédiments et dans la colonne d'eau.

• L'Institut accueille un colloque sur l'évaluation des effets des marées noires, avec participation de plusieurs organismes gouvernementaux, de firmes locales de consultation en matière d'environnement et de l'Université Dalhousie. Les débats sont axés sur l'utilité d'un modèle holistique de l'écosystème (mis au point à l'Institut) pour prédire les effets potentiels des marées noires sur les Grands Bancs.

• Établissement des premières unités du système informatisé destiné aux navires de l'Institut. Basé sur l'ordinateur Digital Equipment MicroVAX II, le système améliorera la fiabilité et augmentera la capacité embarquée d'acquisition et d'analyse des données dans les programmes de recherches océanographiques de l'Institut.

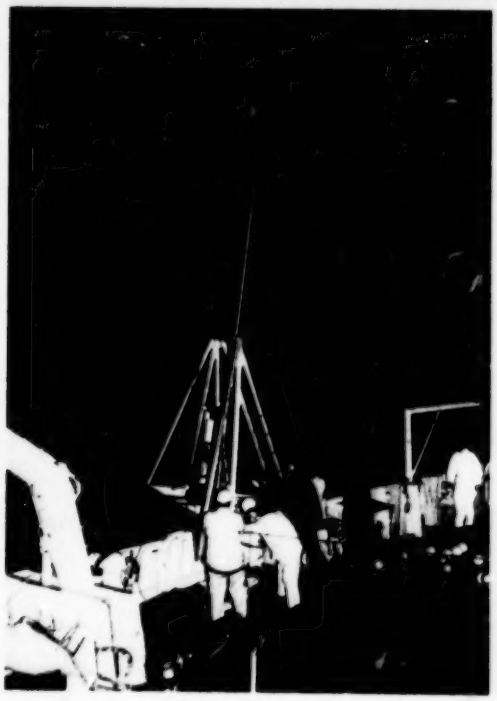
1987

• Le Service hydrographique du Canada à l'Institut teste l'efficacité et la faisabilité de la transmission et de la réception de données cartographiques par le réseau satellitaire ANIK-D.

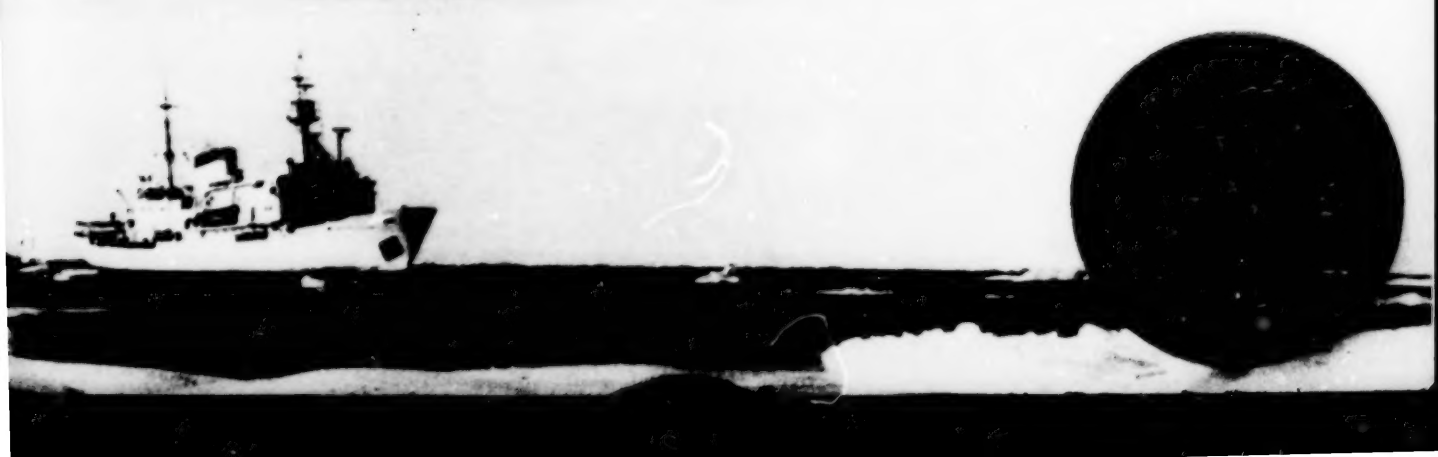
• Le CGA achève avec succès les essais du « carottier long » qui permet d'obtenir des carottes pouvant mesurer jusqu'à 20 mètres de longueur dans des sections où on ne pouvait prélever jusque-là que des carottes deux fois plus petites.

• AIMS-1, le premier prototype opérationnel du système de surveillance des glaces de l'Arctique, fabriqué conjointement par le LOA et par Seimac Ltd., effectue ses essais d'hiver aux approches du port de Halifax, et est mis en place au mois d'août dans le passage du Nord-Ouest.

• Dr A.R. Longhurst, directeur général régional, est remplacé par S. MacPhee, qui devient directeur régional des Sciences pour le MPO.



Rétrospective. . .



L'Institut océanographique de Bedford (IOB) est le principal établissement de recherche océanographique du Canada; il relève de plusieurs ministères fédéraux, et ses membres sont des fonctionnaires.

Les installations de l'Institut (bâtiments, bateaux ordinateurs, bibliothèques, ateliers, etc.) relèvent du ministère des Pêches et des Océans. Les principaux laboratoires et services situés à l'IOB sont les suivants :

Ministère des Pêches et des Océans (MPO)
- Service hydrographique du Canada (Atlantique)
- Direction des sciences physiques et chimiques
- Direction des sciences biologiques

Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources (EMR)
- Centre géoscientifique de l'Atlantique

Ministère de l'Environnement (MDE)
- Unité de recherche sur les oiseaux de mer

Le MPO possède à l'IOB une flotille de navires de recherche ainsi que plusieurs petits bateaux. Les deux gros navires océanographiques, le *HUDSON* et le *BAFFIN*, sont des bâtiments capables de naviguer sous toutes les latitudes, dotés d'une très grande autonomie et possédant une coque Lloyds Ice Class I qui leur permet de parcourir tout l'Arctique canadien. L'IOB a quatre objectifs :

1) Mener des recherches appliquées visant à donner des avis sur la gestion de notre milieu marin, notamment ses ressources halieutiques et ses hydrocarbures;

2) Mener des recherches fondamentales conformément au mandat des ministères;

3) Effectuer les levés et le travail cartographique nécessaires à l'établissement de cartes de navigation couvrant la région qui va du banc George au Passage du Nord-Ouest, dans l'Arctique canadien;

4) Apporter toute son aide scientifique et technique en cas de catastrophe maritime dans cette région.

J.A. Elliott — *Directeur, direction des sciences physiques et chimiques, MPO*
E.H.J. Hisock — *Service canadien de la faune, section de recherche sur les oiseaux aquatiques, MDE*
M.J. Keen — *Directeur, centre geoscientifique de l'Atlantique, MEMR*
A.J. Kerr — *Directeur, service hydrographique en Canada (Region de l'Atlantique) MPO*
J.E. Stewart — *Directeur, direction des sciences biologique, MPO.*

Couverture :
Vue aérienne du port de Halifax montrant l'IOB avec le NSC Baffin *au premier plan et les villes de Dartmouth et Halifax à l'arrière-plan.*

Roger Bélanger

Page 2 de couverture :
L'Institut océanographique de Bedford en 1962.

Anonyme

Page 4 de couverture :
Vue aérienne de la jetée et des navires de recherche de l'IOB.

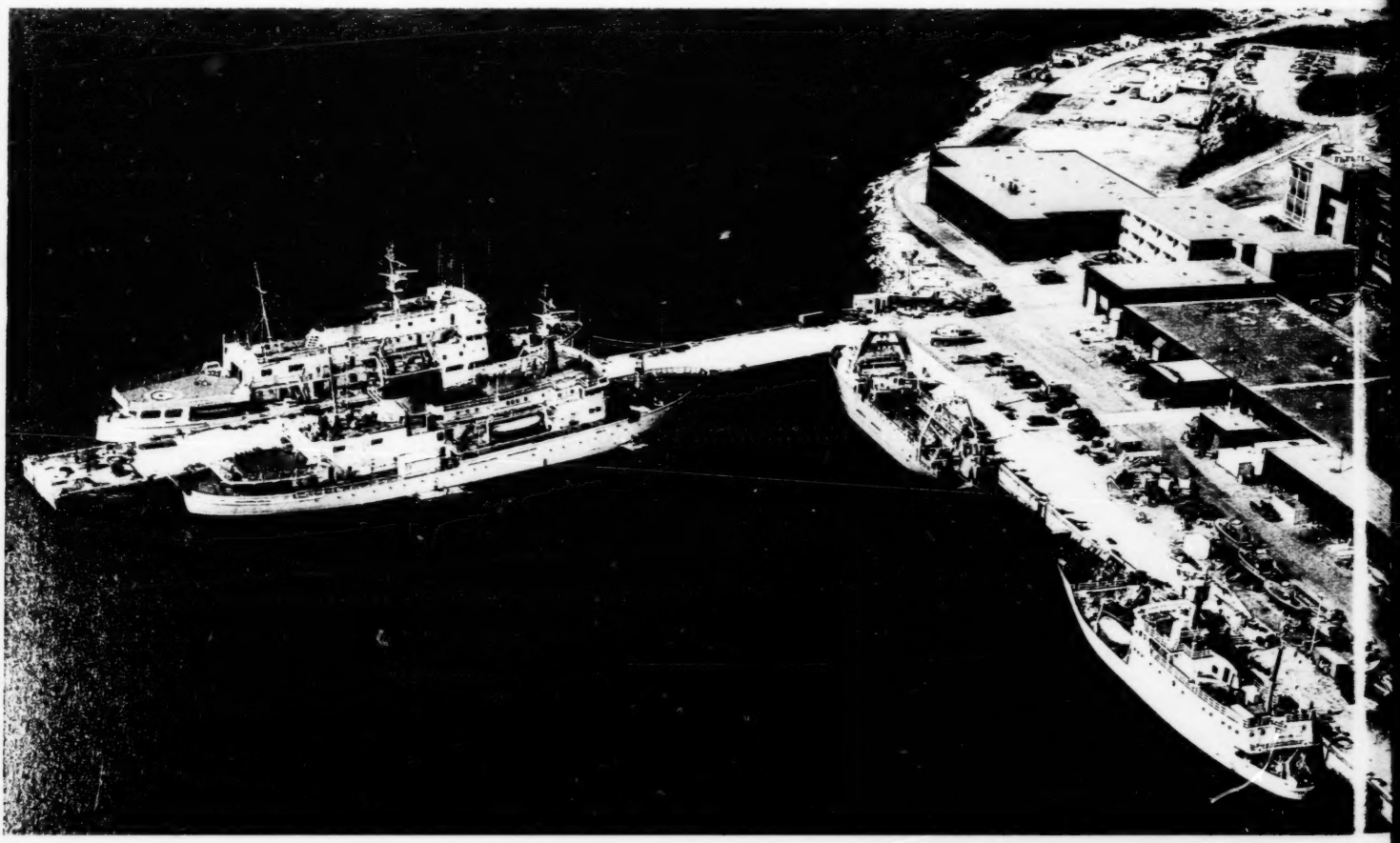
Roger Bélanger

Pêches et Océans

Fisheries and Oceans

Énergie, Mines et Ressources

Energy, Mines and Resources

Environnement

Environment